

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Viktor Žganec

Zagreb, 2015

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Viktor Žganec

Zagreb, 2015

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, koristeći znanje stečeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, i navedenu literaturu.

Ovom prilikom posebno se zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na stručnoj pomoći i savjetima tijekom izvođenja ovog rada. Zahvaljujem se susretljivim djelatnicima poduzeća Primabiro d.o.o., na ustupljenim materijalima, pomoći i vremenu.

Također, želio bih se zahvaliti obitelji, prijateljima i kolegama na strpljenju i potpori tijekom dosadašnjeg studiranja i izrade ovog rada.

(Viktor Žganec)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Viktor Žganec**

Mat. br.: 0035178998

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Simulacijski model proizvodnog sustava**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Simulation model of production system**

Opis zadatka:

U optimizaciji proizvodnog procesa od velike pomoći mogu biti suvremeni simulacijski softverski alati. Eksperimentiranjem na virtualnom sustavu putem simulacijskog modela moguće su analize raznih scenarija, s ciljem pronalaženja poboljšanja.

U radu je potrebno:

- Dati pregled stanja (značaja i primjene) simulacijskih alata u analizama i optimizaciji proizvodnih sustava i procesa.
- Napraviti pregled najznačajnijih softverskih alata na tržištu, te detaljnije prikazati softverski paket Enterprise Dynamics 9 (ED9) dostupan u Laboratoriju za logistiku FSB-a.
- Detaljno prikazati proizvodni sustav i proces poduzeća Primabiro d.o.o. za proizvodnju i montažu čeličnih konstrukcija, transformatorskih kotlova, dijelova tračničkih vozila i opreme za tlačne posude.
- Napraviti simulacijski model cijelog proizvodnog sustava u dostupnom programu ED9.
- Pomoću simulacija analizirati postojeći proizvodni proces (iskoristivost opreme, uska grla,...), kao i mogućnosti unapređenja procesa (promjenom rasporeda strojeva, dodavanjem novih strojeva, promjenama jediničnih tereta, ...).

Zadatak zadan:
13. studenog 2014.

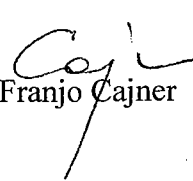
Rok predaje rada:
15. siječnja 2015.

Predvideni datum obrane:
21., 22. i 23. siječnja 2015.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Goran Đukić


Prof. dr. sc. Franjo Čajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. Uvod.....	1
2. Poduzeće Primabiro d.o.o.....	3
2.1 Djelatnosti poduzeća.....	4
2.2 Lokacija	4
2.3 Organizacijska struktura poduzeća	5
2.4 Asortiman poduzeća	5
3. Proizvodni sustav i proizvodni procesi poduzeća Primabiro d.o.o.	8
3.1 Proizvodni sustav i proizvodni procesi – općenito	8
3.2 Proizvodni sustav poduzeća Primabiro d.o.o.....	13
3.3 Proizvodni procesi u poduzeću Primabiro d.o.o.....	17
4. Simulacijski alati u analizama proizvodnih sustava i procesa	23
4.1 Simulacija i simulacijski jezici	23
4.2 Povijest simulacije i njezina važnost u današnjem svijetu	25
4.3 Simulacijski softveri za modeliranje i simulaciju proizvodnih sustava i procesa	27
4.3.1 ARENA	27
4.3.2 DOSIMIS-3	29
4.3.3 Tecnomatix Plant Simulation	33
4.3.4 Flexsim	35
4.3.5 Enterprise Dynamics 9	39
5. Simulacijski model „Primabiro“	43
5.1 Pretpostavke i ograničenja modela	49
5.2 Dvodimenzionalni i trodimenzionalni prikaz modela “Primabiro“	49
5.3 Objašnjenje korištenih atoma u modelu i njihovih glavnih parametara	50
6. Analiza dobivenih rezultata simulacije i moguća unapređenja	62
6.1 Analiza dobivenih rezultata simulacije.....	62
6.2 Mogućnosti unapređenja	68
7. Zaključak	70
8. Literatura	71
9. Prilozi	72

POPIS SLIKA

Slika 1. Organizacijska shema poduzeća Primabiro d.o.o.	5
Slika 2. Dvodijelni transformatorski kotao [3].....	5
Slika 3. Kotao [3]	5
Slika 4. Konzervator [3]	6
Slika 5. Transformatorski kotao [3]	6
Slika 6. Kotao i konzervator [3]	7
Slika 7. Transformatorski kotao [3]	7
Slika 8. Proizvodni sustav [4]	8
Slika 9. Proizvodni proces [5]	11
Slika 10. Proizvodni i tehnološki proces [5]	12
Slika 11. Proizvodni sustav poduzeća Primabiro d.o.o.	14
Slika 12. Raspored strojeva - priprema proizvodnje	15
Slika 13. Raspored radnih mjesta – montaža	16
Slika 14. Tijek kretanja montiranog kotla prije isporuke kupcu	16
Slika 15. Narudžbenica [3]	19
Slika 16. Procesi u poduzeću Primabiro d.o.o.....	22
Slika 17. Prikaz radne površine s osnovnim elementima proizvodnje i 2D animacijom [7] ...	27
Slika 18. Početni prozor softvera ARENA.....	28
Slika 19. Podešavanje parametara u ARENA softveru [7]	29
Slika 20. Prikaz 3D modela izrađenog u DOSIMIS-3	30
Slika 21. Prikaz sučelja DOSIMIS-3 softvera.....	30
Slika 22. Prikaz unosa parametara za atom Shuttle	31
Slika 23. Prikaz rješenja dijagramom zauzeća	32
Slika 24. Prikaz rješenja histogramom	32
Slika 25. Prikaz sučelja Plant Simulation softvera.....	33
Slika 26. Prozor za simulaciju u Plant Simulation softveru	34
Slika 27. Sankeyev dijagram u Plant Simulation softveru	34
Slika 28. Prikaz 3D objekata u Flexsim softveru	35
Slika 29. Prikaz radnog prostora u Flexsim simulacijskom softveru	36
Slika 30. Unos parametara na atomu transporter	37
Slika 31. Statističko praćenje promjena na atomu “processor“ za vrijeme simulacije	38
Slika 32. 3D prikaz sustava u softveru Flexsim	38

Slika 33. Prikaz sučelja Enterprise Dynamics softvera	40
Slika 34. Library tree za odabir atoma	41
Slika 35. Prikaz povezanih atoma	41
Slika 36. "Run control"	42
Slika 37. 2D prikaz simulacijskog modela "Primabiro"	49
Slika 38. 3D prikaz modela "Primabiro"	50
Slika 39. Postavke atoma <i>Product</i>	51
Slika 40. Postavke atoma <i>Source SP</i>	52
Slika 41. Postavke atoma <i>Server SP</i>	52
Slika 42. Postavke atoma <i>ArrivalList</i>	53
Slika 43. Određivanje naziva labele u atomu <i>ArrivalList</i>	54
Slika 44. Popis dolazaka u atomu <i>ArrivalList</i>	54
Slika 45. Postavke atoma <i>MultiService</i>	55
Slika 46. Postavke atoma <i>Queue</i> za operaciju brušenja manjih dijelova	57
Slika 47. 4DS kod upisan u "Send to" polje atoma <i>Queue</i>	57
Slika 48. Postavke servera BRU1	58
Slika 49. Postavke atoma <i>Assembler</i>	60
Slika 50. Tablica potrebnih dijelova kod atoma <i>Assembler</i>	61
Slika 51. Izvješće za prvu simulaciju	63
Slika 52. Iskoristivost na radnom mjestu montaže poklopca	64
Slika 53. Iskoristivost na radnom mjestu RB1	64
Slika 54. Iskoristivost kod završne montaže	64
Slika 55. Izvješće za drugu simulaciju	65
Slika 56. Iskoristivost na radnom mjestu montaže poklopca	66
Slika 57. Iskoristivost na radnom mjestu RB1	66
Slika 58. Trajanje druge simulacije do izrade 4 proizvoda	66
Slika 59. Prikaz broja gotovih sklopova kroz vrijeme u trećoj simulaciji	67
Slika 60. Izvješće za treću simulaciju	68

POPIS TABLICA

Tabela 1. Reprezentativni dijelovi - podsklop A.....	43
Tabela 2. Reprezentativni dijelovi-podsklop B.....	44
Tabela 3. Reprezentativni dijelovi - podsklop C.....	44
Tabela 4. Reprezentativni dijelovi - podsklop D.....	45
Tabela 5. Broj strojeva na radnim mjestima.....	46
Tabela 6. Vremena pripreme i obrade na strojevima	46
Tabela 7. Vremena obrade na radnom mjestu AR1	47
Tabela 8. Vremena obrade na radnom mjestu AR2	47
Tabela 9. Trajanje procesa montaže poklopca	48
Tabela 10. Trajanje procesa montaže kotla	48
Tabela 11. Trajanje procesa montaže konzervatora	48
Tabela 12. Trajanje procesa montaže opreme	48
Tabela 13. Trajanje procesa probne montaže	48

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se optimizacijom proizvodnog sustava pomoću simulacijskog softvera Enterprise Dynamics 9. U radu je opisana terminologija i metodologija koja je bitna za razumijevanje simulacija.

U radu je opisan proizvodni sustav i proizvodni procesi poduzeća Primabiro d.o.o. na temelju čega je napravljen i simulacijski model. Nakon toga, napravljena je analiza dobivenih rezultata i obrazložene su mogućnosti unapređenja.

Ključne riječi: proizvodni sustav, proizvodni proces, simulacija, simulacijski model

SUMMARY

This thesis deals with the optimization of the production system using simulation software Enterprise Dynamics 9. The thesis describes the terminology and methodology that is essential for understanding the simulation.

It describes production system and production processes of the firm Primabiro d.o.o. which were being used for developing a simulation model. After that are given analysis and possibilities for the improvements.

Key words: production system, production process, simulation, simulation model

1. Uvod

U današnje vrijeme poduzeća posluju u nesigurnoj okolini. Tržište postaje zahtjevnije, potražnja se širi i mjenja, upravljački problemi postaju sve složeniji, a biti konkurentan danas nije pitanje uspjeha nego pitanje opstanka. Stoga, današnja poduzeća moraju biti fleksibilna, inovativna i kontinuirano se usavršavati kako bi opstala na tržištu.

Stalno povećanje broja proizvoda na tržištu i pronalaženje novih proizvodnih postupaka nameće stvaranje novih, ali i prilagodbu već postojećih proizvodnih sustava. Jedan od načina za prilagodbu već postojećeg proizvodnog sustava je simulacija. Uz pomoć simulacije možemo napraviti analizu sustava bez eksperimentiranja sa stvarnim sustavom i na taj način provjeriti isplati li nam se uvoditi željene promjene u postojećem proizvodnom sustavu. Simulacija nam omogućava vizualizaciju, analizu, poboljšavanje i optimizaciju postojećih proizvodnih sustava.

U prvom dijelu rada opisuje se poduzeće Primabiro d.o.o. Dane su osnovne informacije o poduzeću, djelatnostima i asortimanu poduzeća. Detaljno je opisan proizvodni sustav i proizvodni procesi poduzeća, na temelju kojih će se kasnije provesti simulacija. Ovdje je potrebno navesti da je u završnom radu [12] provedena analiza tokova materijala u ovom poduzeću (i analizirana mogućnost unapređenja putem smanjenja ukupnog transportnog učinka) eventualnom promjenom rasporeda strojeva, za potrebe čega je bilo prikazano poduzeće (djelatnost i asortiman), te dan opis proizvodnog sustava i procesa. Ovdje se to ponavlja (jer dakako nije različito), ali je nužno zbog razumijevanja ovog rada u kojem je pristup unapređenju procesa putem simulacije procesa.

Drugi dio rada posvećen je simulaciji i njezinoj važnosti u današnjem svijetu proizvodnje i utjecaju u analizi i optimizaciji proizvodnih sustava i procesa. Napravljen je pregled najznačajnijih softverskih alata na tržištu, a detaljnije je objašnjen softverski paket Enterprise Dynamics 9 koji će se koristiti kod izrade simulacije.

Treći dio rada bavi se simulacijskim modelom koji je izrađen na temelju proizvodnog sustava poduzeća Primabiro d.o.o. Detaljno su objašnjeni elementi softvera koji su se koristili tokom izrade simulacije. Prikazani su rezultati simulacije i napravljena je analiza dobivenih rezultata, te su komentirane mogućnosti unapređenja proizvodnog sustava na temelju dobivenih

rezultata. Objasnjeni su razlozi nastajanja uskih grla na radnim mjestima brušenja i montaže, te njihovo rješavanje, kao i povećanje produktivnosti uvođenjem novih radnih mjesta na radnim mjestima montaže.

2. Poduzeće Primabiro d.o.o.

Poduzeće Primabiro d.o.o osnovano je 1992. godine prvenstveno kao posrednik između inozemnog tržišta i domaće proizvodnje. U tom početnom periodu organizirali su svoju proizvodnju u poduzećima Međimurje metalne konstrukcije d.d. Čakovec, Miva d.o.o. Pribislavec, Midi d.o.o. Ivanovec, Oprema Olkon d.d. Ludbreg, Orometal d.d. Oroslavlje, Meteks d.o.o. Čakovec i Dominiković produkt d.o.o. Zagreb. Također, ostvarili su direktan kontakt sa tržištem Austrije i Slovenije: poduzećima Haslinger GmbH Feldkirchen Austrija, Innoweld GmbH Hönigsberg Austrija, Preis d.o.o. Sevnica, Wild GmbH Austrija i IAB GmbH Austrija. Organizirali su obuku zavarivača TIG i MIG/MAG postupcima i školovali i atestirali preko 50 zavarivača. [1]

Od 2000. pa do 2004. godine preorijentirali su se na vlastitu, organiziranu proizvodnju u unajmljenim prostorima. U poduzeću je tada bilo zaposleno 79 djelatnika koji su radili na 4 lokacije:

- Međimurje metalne konstrukcije d.d. Čakovec
Primabiro d.o.o. je u najmu 600 m² prostora sa kranom nosivosti 16 t (1 kom), 5 t (1 kom), lakirnicom 400 m² i vlastitom pjeskarom. Na toj je lokaciji bilo zaposleno 35 djelatnika i obavljao se glavni dio proizvodnje poduzeća (proizvodnja transformatorskih kotlova, proizvodnja kućišta strojeva za rezanje panela, proizvodnja ostale energetske opreme, priprema proizvodnje za lokacije Panex i Varaždin).
- Panex d.d. Čakovec
Primabiro d.o.o. je u najmu 600 m² prostora sa kranom nosivosti 3 t. Tu je bilo zaposleno 20 djelatnika. Ovdje se odvijala proizvodnja zavarenih čeličnih konstrukcija, proizvodnja cjevovoda, te proizvodnja dijelova za topove.
- Kostwein d.o.o. Varaždin
Primabiro d.o.o. je u najmu 800 m² prostora te dvama kranovima nosivosti 5 t i 2 t. Tu je bilo zaposleno 20 djelatnika i odvijala se proizvodnja dijelova strojeva za pakiranje (TetraPak) i proizvodnja lokomotivskih transformatorskih kotlova.
- Ured u Čakovcu (zgrada Pilke)
Poduzeće je u najmu 65 m² prostora sa 5 djelatnika. Ovdje je bila smještena komercijala (nabava i prodaja) s računovodstvom.

Ukupan rezultat kroz sav taj period bio je pozitivan (osim 2002. godine kada su bili u gubitku zbog stečaja inozemnog partnera) i sve se ulagalo u proširenje proizvodnje.

U 4. mjesecu 2004. godine Primabiro d.o.o. kupuje vlastiti proizvodni pogon na adresi Zrinskofrankopanska 23, u Čakovcu, što je ujedno i lokacija s koje djeluje od 1.6.2004. Do kraja 2005. godine završena je dogradnja hale na istoj lokaciji i od tada sva proizvodnja i službe djeluju s jednog mjesta. Danas poduzeće raspolaže s ukupno 3350 m² natkrivenog proizvodnog prostora i 750 m² uredskog i garderobnog prostora. U poduzeću je trenutno zaposleno 300 djelatnika. [1]

2.1 Djelatnosti poduzeća

Poduzeće Primabiro d.o.o. orijentirano je od samog osnutka na izvoz robe i usluga. Poštivajući sve stroge europske i međunarodne norme, tokom 12 godina postojanja, 70-80 % prihoda ostvareno je izvozom robe i usluga. Izvozna orijentacija poduzeća zahtijevala je prilagodbu i izuzetnu fleksibilnost, visoku produktivnost i optimalno korištenje kapaciteta kao i strogo poštivanje ugovorenih rokova. Uspjeli su se probiti na međunarodno tržište i tamo ostati 12 godina unatoč vrlo jakoj konkurenciji.

Glavna djelatnost poduzeća je metaloprerađivačka, odnosno proizvodnja i montaža čeličnih konstrukcija, kućišta transformatorskih kotlova (oko 80 % ukupne proizvodnje), steznika za transformatorske kotlove (oko 10 % ukupne proizvodnje) i raznih čeličnih zavarenih konstrukcija (oko 10 % ukupne proizvodnje). [1]

2.2 Lokacija

Poduzeće Primabiro d.o.o. smješteno je u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, točnije u Međimurskoj županiji. Nalazi se u industrijskoj zoni grada Čakovca uz prometnicu koja vodi prema Nedelišću i dalje prema Varaždinu. Poduzeće je dobro povezano cestovnim prometom sa ostatkom Hrvatske, a uz samo poduzeće ide i pruga tako da je i s te strane povezano s ostalim dijelovima Hrvatske i zemljama EU. Blizu je mađarske granice i Slovenije. Moglo bi se reći gotovo idealan položaj za poduzeće orijentirano na izvoz.

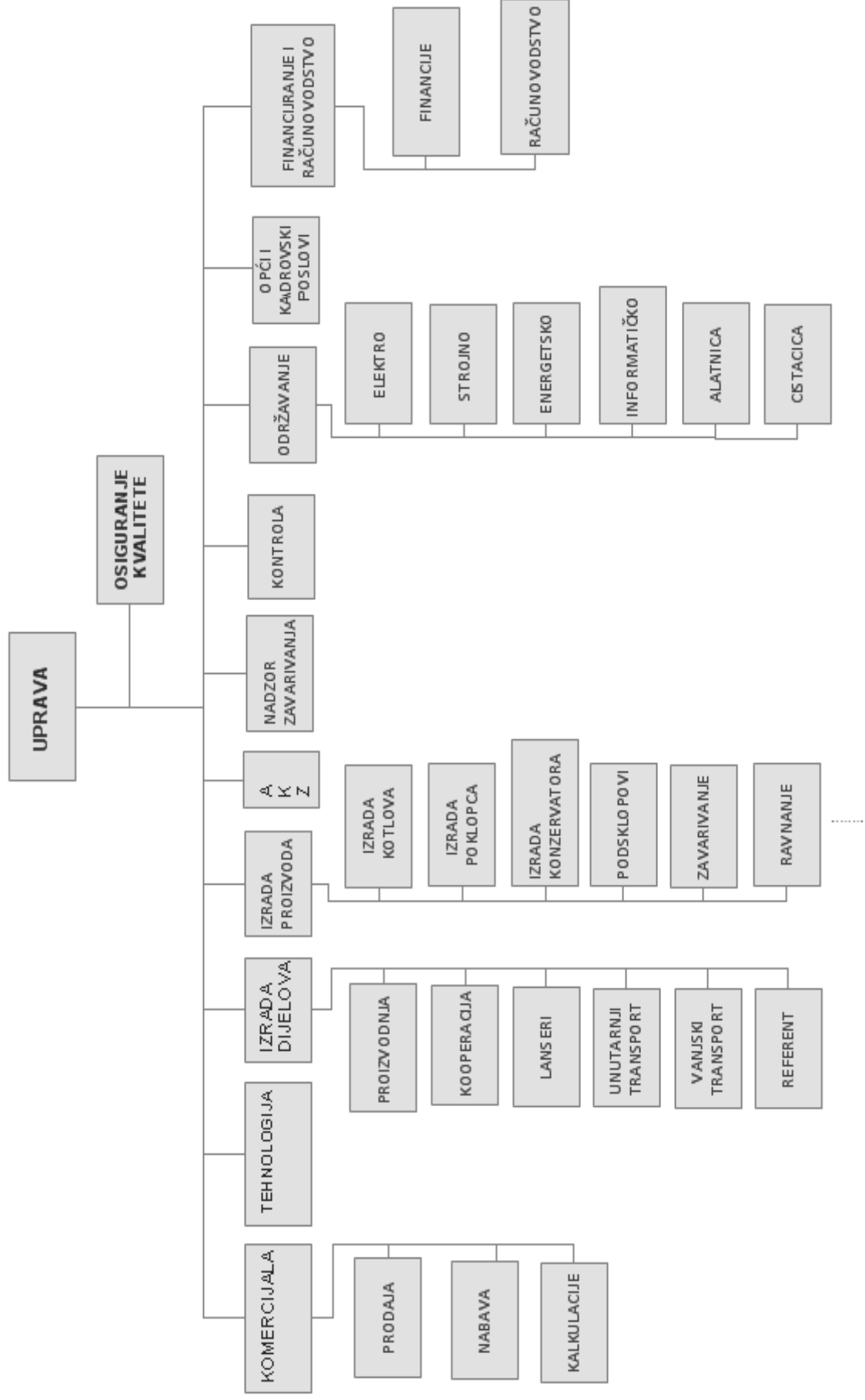
2.3 Organizacijska struktura poduzeća

Pod organizacijskom strukturom razumijeva se utvrđeni sustav sektora, odjela i službi, kao i međusobnih veza i odnosa, koji osiguravaju da se, za svaku djelatnost, znade koje poslove obuhvaća i što je njezin zadatak, kakva je povezanost između tih djelatnosti, odnosno kakva je međusobna nadređenost i podređenost, te tko donosi određene odluke. Organizacijska struktura pokazuje globalni sustav poduzeća, kao i sastav svih njezinih dijelova u proizvodnom i poslovnom procesu, te je time i nužan temelj svakog poduzeća jer slijedi njegove ciljeve.

Ona se mora odrediti prije početka rada poduzeća i mora posve jasno odrediti sve poslovne i proizvodne djelatnosti, vodeći pritom računa da ne dolazi do preklapanja pojedinih poslova, kao i da svaki pojedinac dobiva naređenja samo od jednog nadređenog.

Posebno treba voditi računa o raspodjeli prava i odgovornosti u ovisnosti o razini na kojoj se netko nalazi u organizacijskoj strukturi. [2]

U poduzeću Primabiro d.o.o. ustrojene su sljedeće organizacijske jedinice: uprava, komercijala, priprema proizvodnje, proizvodnja, nadzor zavarivanja, održavanje, opći i kadrovski poslovi, financije i računovodstvo, kontrola i zaštita na radu. Sjedište svih organizacijskih jedinica je kao što je i prije spomenuto u Čakovcu, Zrinskofrankopanska 23.



Slika 1. Organizacijska shema poduzeća Primabiro d.o.o.

2.4 Asortiman poduzeća

Kao što je već navedeno, glavna djelatnost poduzeća je metaloprerađivačka, odnosno proizvodnja i montaža čeličnih konstrukcija. Prema tome asortiman poduzeća čine: kućišta transformatorskih kotlova, steznici za transformatorske kotlove, visoko i niskonaponske priključne kutije i druge razne čelične zavarene konstrukcije. [1]



Slika 2. Dvodijelni transformatorski kotao [3]



Slika 3. Kotao [3]



Slika 4. Konzervator [3]



Slika 5. Transformatorski kotao [3]



Slika 6. Kotao i konzervator [3]

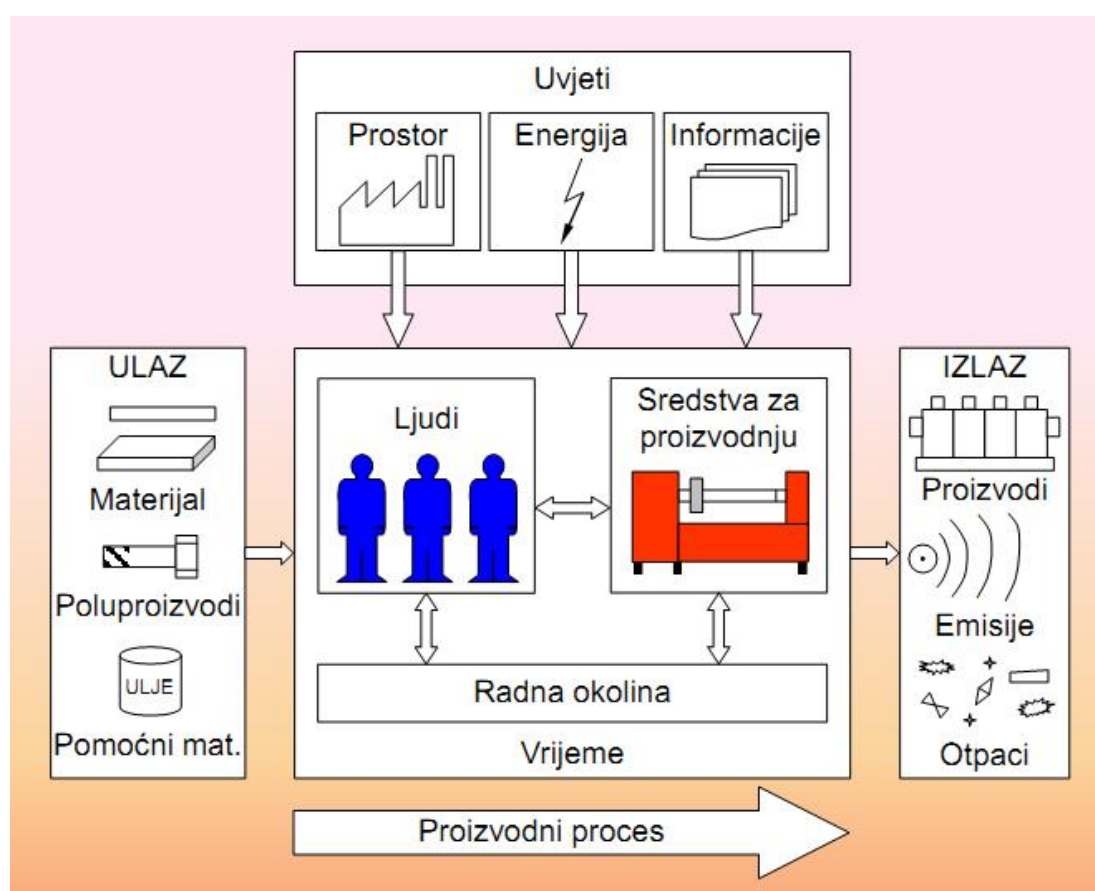


Slika 7. Transformatorski kotao [3]

3. Proizvodni sustav i proizvodni procesi poduzeća Primabiro d.o.o.

3.1 Proizvodni sustav i proizvodni procesi – općenito

Proizvodni sustav je složena socijalna i materijalna tvorevina kojom se obnosi proces stvaranja vrijednosti – materijalnih i inih dobara. Osnovni elementi proizvodnog sustava su ljudi s proizvodnim iskustvom i sredstva za proizvodnju koji zajedničkim djelovanjem u radnoj okolini, uz ispunjenje određenih uvjeta (prostora, energije, informacija), transformiraju ulazne komponente u izlazne veličine. Proizvodni sustav je sastavljen od više podsustava koji su u stalnoj međusobnoj interakciji te stoga mora biti cjelovit odnosno integriran. [4]



Slika 8. Proizvodni sustav [4]

Proizvodni sustav je:

- konkretan sustav s potpuno definiranim vezama između elemenata sustava
- umjetan, stvoren ljudskim radom, za zadovoljavanje ljudskih potreba
- dinamičan, jer se stanje sustava mijenja tijekom vremena

- složen, jer se najčešće sastoji od više, proizvodnim tokovima povezanih elemenata, od kojih svaki pojedinačno predstavlja složeni zasebni (pod)sustav
- otvoren, neizoliran od utjecaja vanjskih sustava, posjedujući brojne veze sa svojim okruženjem
- stohastički, jer se ponašanje proizvodnog sustava može predvidjeti samo s određenom vjerojatnošću
- sociotehnički, jer su temeljni činitelji sustava ljudi i tehnička sredstva [4]

Kod proizvodnog sustava bitno je istaknuti važnost njegovog prostornog određenja (plant layout). Naime, prostorno određenje proizvodnog sustava, na različitim razinama sustava, u potpunosti definira prostor potreban za odvijanje proizvodne djelatnosti, smještaj opreme i ljudi, rukovanje i transport materijala, spremišta i skladišta i sve podupiruće djelatnosti. Pri tome je osnovni cilj postići takvo prostorno određenje sustava koje će omogućavati profitabilnu proizvodnju uz konkurentnu cijenu proizvoda. [4]

Prednosti dobro prostorno oblikovanog sustava očituju se u sniženju troškova, proisteklome iz: sniženja opasnosti za zdravlje i sigurnost zaposlenih; poboljšanja zalaganja, odgovornosti i zadovoljstva zaposlenih; povišenja proizvodnosti; smanjenja broja zastoja; ušteda u prostoru; smanjenja potrebe za rukovanjem materijala; veće iskorištenosti sredstava i ljudskog rada; ubrzanja i pojednostavnjenja toka materijala; kraćega vremena izrade i sklapanja; smanjena obujma administrativnih poslova; lakšega i boljega nadziranja; smanjenja zakrčenosti i zbrke u pogonima; smanjenja rizika oštećenja materijala ili sniženja njegove kakvoće; lakše prilagodbe promijenjenim uvjetima; raznovrsnih ostalih prednosti (lakše održavanje, manje zalihe itd.). [2]

Iz navedenoga proizlaze osnovna klasična načela projektiranja proizvodnih sustava:

1. načelo integracije svih utjecajnih čimbenika – ljudi, sredstava i svih ostalih utjecajnih elemenata i djelatnosti na način koji ishodi najboljim kompromisom
2. načelo kretanja materijala najkraćim udaljenostima
3. načelo toka, kojime se nastoji osigurati da rješenja prostornoga određenja sustava prate redoslijed pojedinih tehnoloških procesa
4. načelo kugle – efikasne iskorištenosti raspoloživog prostora – i vodoravno i okomito

5. načelo zadovoljstva i sigurnosti zaposlenih
6. načelo fleksibilnosti, kojime se osigurava prilagodba sustava novim uvjetima uz minimalne troškove i poteškoće [2]

U svojoj je cjelokupnosti projektiranje proizvodnih sustava, multidisciplinarna i interdisciplinarna djelatnost kojoj je svrha ostvarenje funkcionalnog, ekonomičnog, fleksibilnog, humanog i ekološki proizvodnog sustava, racionalnom uporabom ljudskih i materijalnih potencijala. Pri tome se radi o iznimno odgovornoj djelatnosti, budući da se, najčešće, angažiraju znatna financijska sredstva, a projektna rješenja imaju utjecaj i za duže razdoblje. Naime, (tehnički) životni vijek proizvodnog sustava mnogo je duži od (tržišnog) vijeka proizvoda. [2]

Ostvarenje proizvodnog sustava znači dovođenje u sklad mnogih, kompleksno povezanih čimbenika. Sukladno projektnim ciljevima i ograničenjima, teži se k realizaciji proizvodnog sustava kao optimalne cjeline. Postignuće parcijalnih optimuma najčešće neće rezultirati optimumom proizvodnog sustava kao cjeline. [2]

Stalno povećanje broja proizvoda na tržištu i pronalaženje novih proizvodnih postupaka, nameće stvaranje novih, ali i prilagodbu već postojećih proizvodnih sustava. Tako je djelatnost projektiranja suočena sa zahtjevima da se projekti učine što kvalitetnijim, u što kraćem vremenu. [2]

U projektiranju proizvodnih sustava projektnim zadatkom su obuhvaćeni: proizvod(i) (predmeti rada); količine proizvoda; rokovi izradbe proizvoda; raspoloživa investicijska sredstva za realizaciju proizvodnog sustava; ostali zahtjevi glede funkcionalnosti, ekonomičnosti, fleksibilnosti, humanosti i ekoložnosti projektiranog sustava. [2]

Postoji pet osnovnih vrsta projektnoga zadatka:

1. projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava
2. rekonstrukcija proizvodnog sustava uz njegovo širenje
3. rekonstrukcija proizvodnog sustava bez njegova širenja
4. uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnome sustavu
5. dekonstrukcija proizvodnog sustava

Tri su čimbenika čije međusobno pojavljivanje i odnos određuju vrstu projektnog zadatka: potreba za novim proizvodom, promjena proizvodnih količina već postojećeg proizvoda i uvođenje novih postupaka izradbe i montaže. [2]

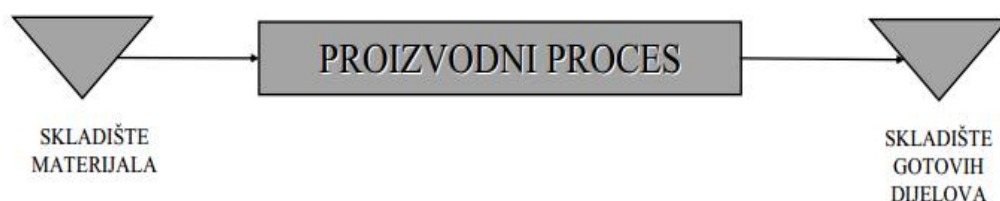
Zadatak projektiranja potpuno novog proizvodnog sustava postavlja se ako postoje sva tri navedena čimbenika. S obzirom na ostale vrste projektnih zadataka, rjeđe se pojavljuje. [2]

Budući da je proizvodni sustav dinamički sustav koji se neprestano mijenja, stvarno stanje proizvodnog sustava s vremenom počinje znatno odstupati od prvotno projektiranog. Tada je potrebna rekonstrukcija proizvodnog sustava, kojom se, sukladno promijenjenoj situaciji, preoblikuju proizvodni tokovi i struktura sustava. Najčešće se zadaci rekonstrukcije pojavljuju pri povećanju proizvodnih količina. Ako povećanje obujma proizvodnje nije moguće novouvedenim postupcima izradbe i sklapanja, rekonstrukcija rezultira širenjem proizvodnog sustava. [2]

Uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnom sustavu gotovo je svakodnevni projektni zadatak. Težište je pri tome na prilagodbi sustava manjoj promjeni proizvodnih količina i postupaka izradbe i montaže, pri čemu se nastoji zadržati koncepcija projektiranog sustava. [2]

Dekonstrukcija proizvodnog sustava projektni je zadatak uklanjanja proizvodnog sustava koji je izgubio svrhu postojanja, zastarjelim proizvodnim programom, proizvodnim postupcima i nemogućnošću uporabe građevinskih objekata i instalacija u druge svrhe. [2]

Proizvodni proces obuhvaća sve aktivnosti i djelovanja vezana za proizvodnju od skladišta ulaznog materijala do skladišta gotovih proizvoda, a rezultiraju pretvorbom poluproizvoda u gotove proizvode. [5]



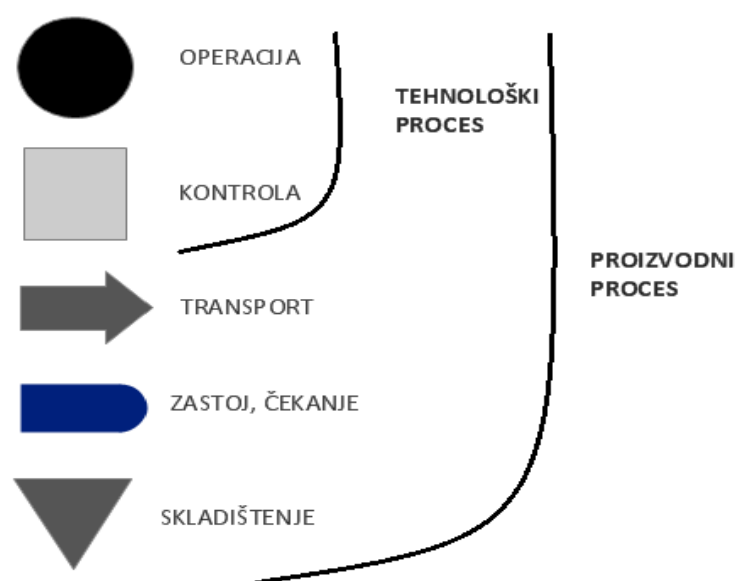
Slika 9. Proizvodni proces [5]

Odnosno, može se reći da je proces zbivanje označeno pretvorbom i/ili transportom tvari, energije i/ili informacija, kod kojega se prikladnim djelovanjem na utjecajne veličine dadu postići određeni rezultati.

Prema ASME standardu 101, proizvodni proces jest proces rada proizvodnoga sustava i obuhvaća sva zbivanja u procesu izradbe nekoga proizvoda: proces rada kojim se izravno i svrsishodno djeluje na materijal (predmete rada) i tako povećava njegova vrijednost (mehanička obrada, zaštita materijala, montaža, toplinska obrada, itd.); te zbivanja koja izravno ne pridonose povećanju vrijednosti materijala, ali su nužna za odvijanje cjelokupnoga procesa (kontrola kakvoće, transport, zastoji i skladištenje). [2]

Proizvodni procesi dijele se na kontinuirane i diskretne. Kontinuirani proizvodni procesi su oni u kojima se predmet rada javlja u obliku koji se može kontinuirano mjeriti (npr. procesna prehrambena industrija). Diskretni proizvodni procesi su oni procesi kod kojih se predmet rada javlja u diskretnim, cjelobrojnim količinama (npr. metaloprerađivačka industrija). [2]

Potrebno je napomenuti da svaki proizvodni proces karakterizira podjela rada, što znači da se pojedini dijelovi procesa odvijaju na prostorno različitim mjestima u sustavu. Rezultat takve prostorne podijeljenosti su proizvodni tokovi koji osiguravaju interakciju proizvodnih čimbenika, odnosno elemenata sustava. Postoje 4 vrste proizvodnih tokova, a to su: tok materijala, tok informacija, tok energije i tok ljudi. [4]



Slika 10. Proizvodni i tehnološki proces [5]

Proizvodni proces je rješenje tehnološkog procesa u prostoru i vremenu, a tehnološki proces određuje način i redoslijed izvođenja proizvodnih operacija i kontrola kakvoće kao što je prikazano na slici 10.

Tehnološki proces predstavlja dio proizvodnog procesa, i to onaj dio koji je direktno vezan za promjenu oblika, dimenzija, stanja površine i svojstava materijala (fizikalna i kemijska) od sirovog stanja do gotovog proizvoda, tj. uključuje sve aktivnosti koje rezultiraju kvalitativnim promjenama pri pretvaranju ulaznog materijala u gotov proizvod.

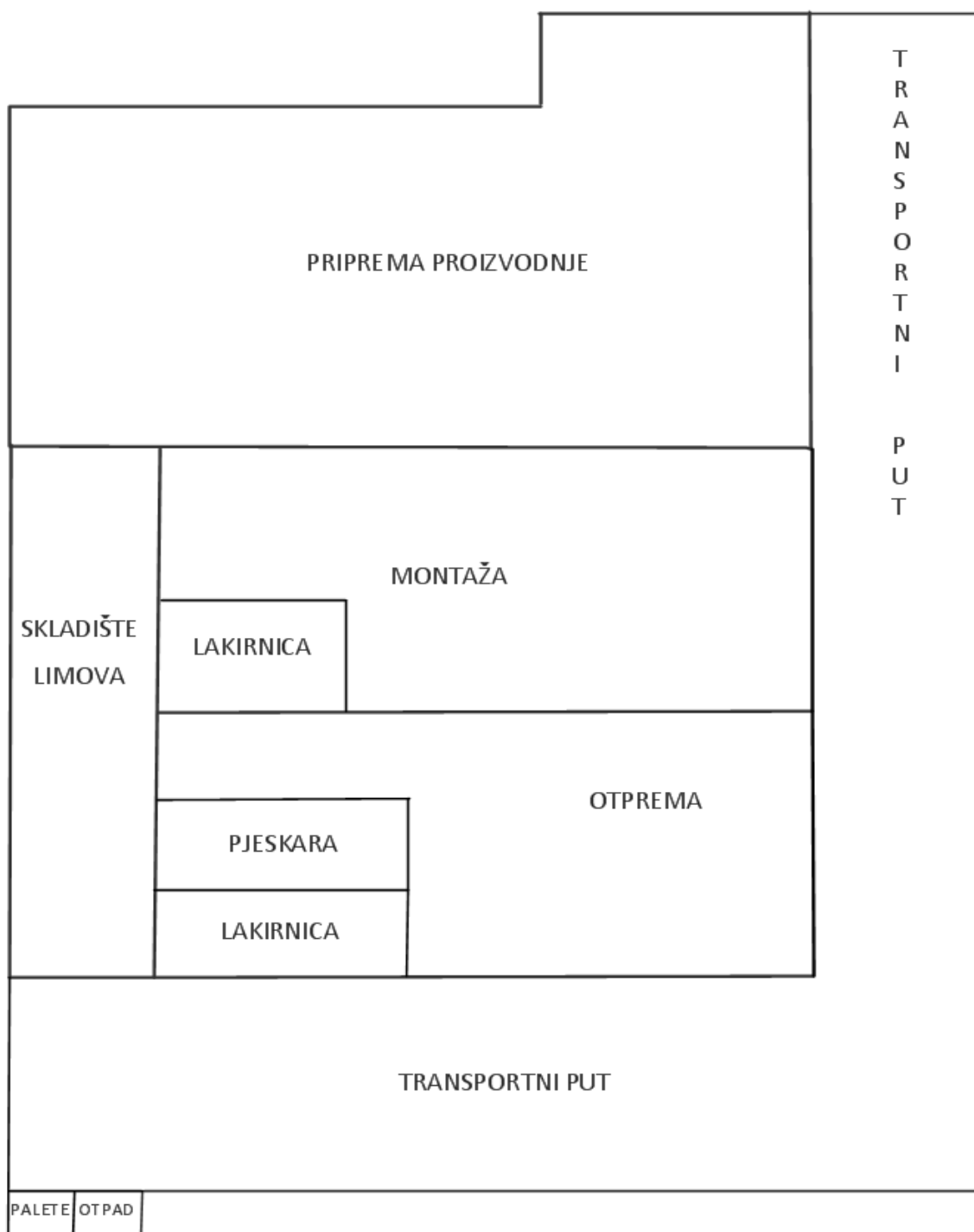
Te promjene izvode se u određenim koracima (operacijama) na pojedinim radnim mjestima. [5]

3.2 Proizvodni sustav poduzeća Primabiro d.o.o.

Kao što je prije navedeno da se proizvodni sustav sastoji od više podsustava koji su u stalnoj međusobnoj interakciji, tako i u poduzeću Primabiro d.o.o. ima više podsustava.

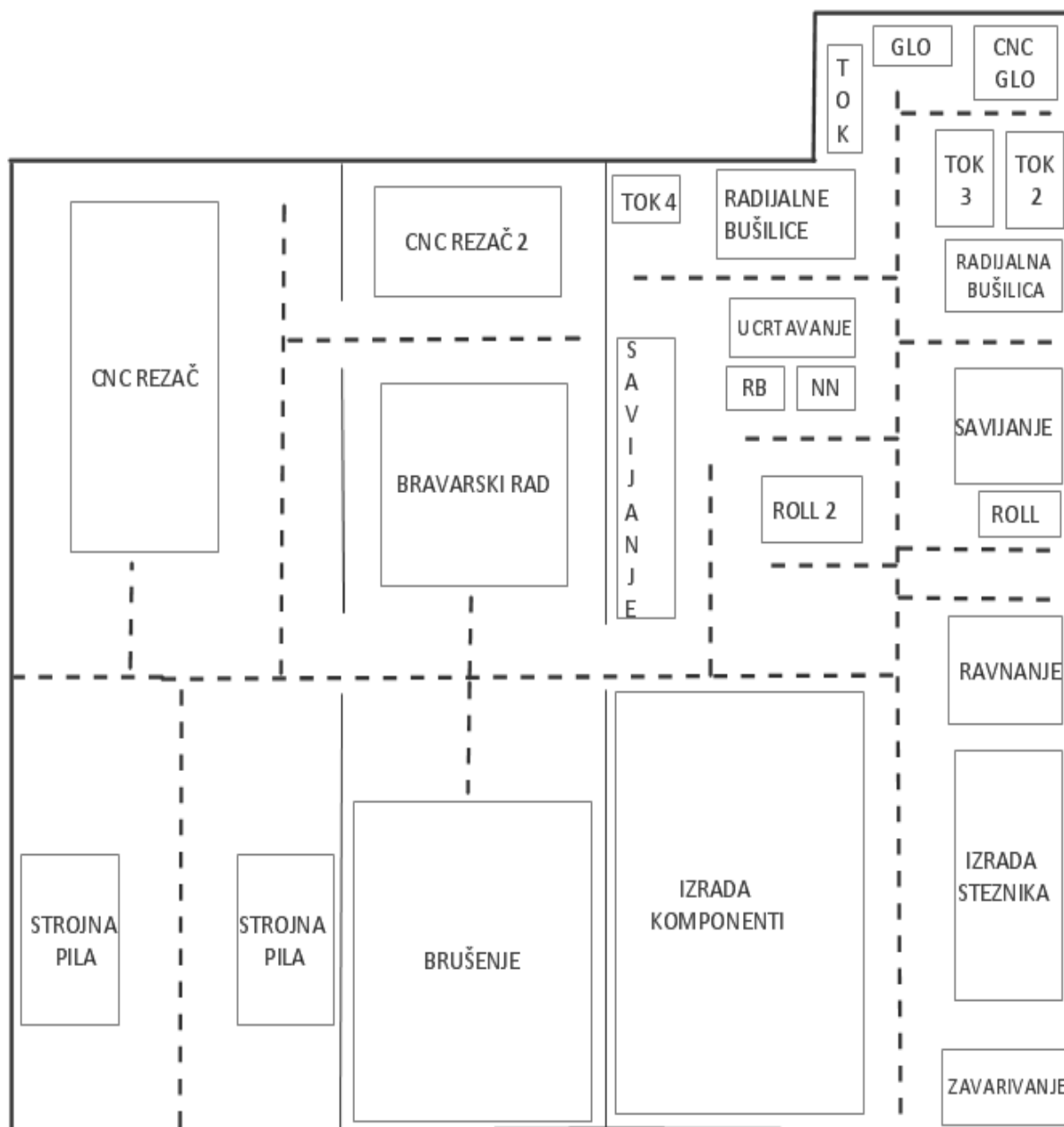
Proizvodni sustav poduzeća Primabiro d.o.o. sastoji se od više cjelina kao što je prikazano na slici 11., a to su: priprema proizvodnje, montaža, antikorozivna zaštita i otprema. U svaku od ovih cjelina pripadali bi i razni logistički i drugi procesi poput tehnološke i operativne pripreme, ali zbog jednostavnosti prikaza proizvodnog sustava poduzeća oni će se sada izostaviti.

Priprema proizvodnje, montaža i otprema proizvoda odvijaju se u različitim halama koja su međusobno povezana transportnim putevima. Raspored strojeva u svakoj hali dan je na slikama u nastavku ovog rada.



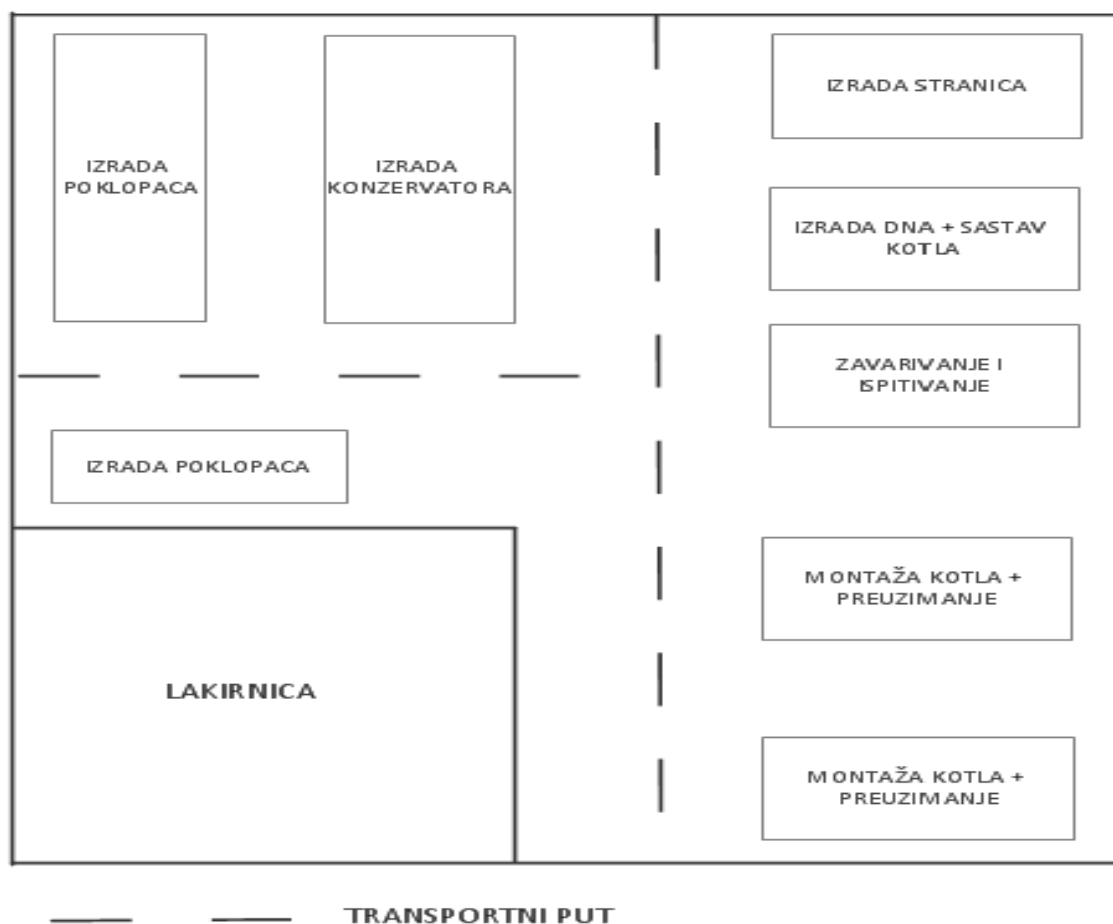
Slika 11. Proizvodni sustav poduzeća Primabiro d.o.o.

Ulazak materijala u poduzeće vrši se transportnim putem koji se nalazi uz poduzeće i vodi do skladišta limova odakle se dalje po potrebi doprema do prvih radnih mjesta obrade. Daljni tok materijala kroz poduzeće opisan je u sljedećem poglavlju ovog rada.

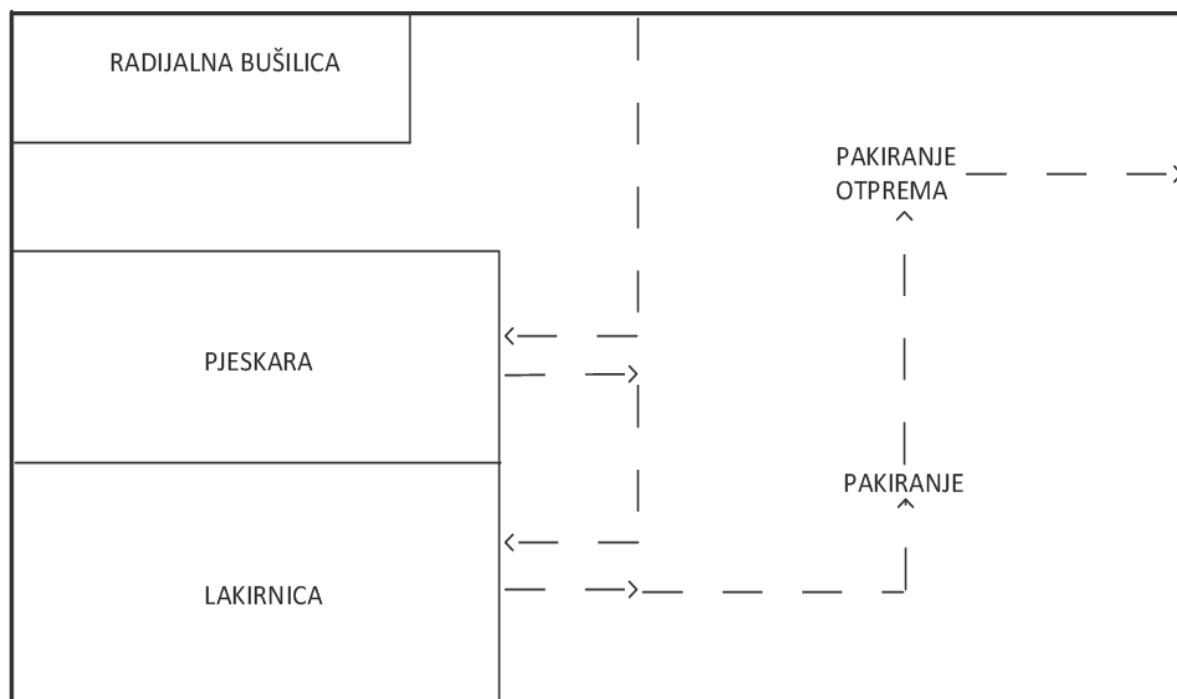


Slika 12. Raspored strojeva - priprema proizvodnje

Na slici 12. vidi se raspored strojeva u dijelu hale gdje se odvija proizvodnja dijelova, a isprekidana crta predstavlja transportni put. Polazni materijal ulazi u halu putem transportnog puta kroz skladište materijala koje se vidi na slici 11. Materijal se uglavnom prvo obrađuje na radnim mjestima strojna pila i cnc rezač, a obrada se dalje odvija ovisno o sljedećim tehnološkim operacijama svakog pojedinog dijela. Nakon završene obrade, potpuno izrađeni dio odlazi na skladišno mjesto odakle se preuzima kad je potreban kod montaže proizvoda.



Slika 13. Raspored radnih mjesta – montaža



Slika 14. Tijek kretanja montiranog kotla prije isporuke kupcu

Na slici 13. prikazan je raspored radnih mjesta u hali gdje se odvija montaža dijelova. Na lijevoj strani slike vidimo radna mjesta gdje se izrađuju podsklopovi poklopac i konzervator, dok na desnoj strani slike vidimo raspored radnih mjesta od početne izrade stranice, pa do montaže cijelog kotla i njegovog preuzimanja. Nakon što je kotao sastavljen i očišćen, slijedi priprema za pjeskarenje.

Kretanje montiranog kotla kroz zadnji dio hale prikazuje slika 14. Kotao najprije ide na pjeskarenje, pa zatim u lakirnicu, da bi se nakon sušenja obavilo pakiranje i kotao je spreman za isporuku kupcu.

3.3 Proizvodni procesi u poduzeću Primabiro d.o.o.

Kada se govori o proizvodnim procesima u poduzeću, potrebno je spomenuti i one procese koji su također sastavni dio poduzeća, ali rijetko se opisuju i analiziraju. To su procesi koji uz proizvodne procese omogućavaju ostvarivanje određene vrijednosti, a nazivamo ih poslovni procesi. U poduzeću Primabiro d.o.o. ti procesi bi se očitovali kroz djelovanje komercijale, nabave, računovodstva i općih i kadrovskih poslova. Prema tome, u nastavku ovog rada, dan je pregled osnovnih procesa od dolaska sirovine u poduzeće, pa do isporuke gotovog proizvoda kupcu.

Procesi u poduzeću Primabiro d.o.o. su:

- Narudžba kupca
- Zaprimiti nalog za proizvodnju
- Nabava sirovine za izradu kućišta transformatorskih kotlova
- Izvršavanje radnih operacija i međuoperacijski kontrolirati izvršene radove
- Sastavljanje dijelova odnosno montaža dijelova
- Zaštita od korozije
- Otprema

Narudžba kupca

Svaki proces izrade kućišta transformatorskog kotla započinje primanjem narudžbe odnosno upita od strane kupca. Upit se zaprima u odjelu komercijala, te se dalje prosljeđuje u projektni ured. Tamo se na osnovi dobivenih podataka razrađuje upit i izrađuje ponuda. Na kraju se u

odjelu komercijala izračunava cijena i gotova ponuda se šalje potencijalnom kupcu. Kupac na temelju dobivenih podataka prihvaća ili odbija ponudu.

Zaprimanje naloga za proizvodnju

Nakon što je kupac prihvatio ponudu poduzeća, otvara se radni nalog na osnovi ugovora kojeg je sklopila komercijala. Na temelju radnog naloga tehnolog traži nacrt od projektnog ureda. U nacrtu se nalazi opis kućišta kojeg treba izraditi sa svim njegovim specifikacijama i dimenzijama, nakon čega dolazi planiranje proizvodnje. Planiranje proizvodnje izvršava se na temelju tehnološkog postupka.

Nabava sirovine

U ovom procesu naručuje se materijal koji će biti potreban za izradu kućišta transformatorskog kotla. Ovaj proces nastaje na temelju tehnološkog postupka i plana proizvodnje. Ukoliko se ustanovi da na skladištu nema potrebnog materijala za izradu kućišta transformatorskog kotla, tehnolog predaje popis potrebnog materijala u odjel nabave koji naručuje potreban materijal putem narudžbenice. Kontrolu zaliha na skladištu vrše voditelj odjela nabave i tehnolog u suradnji sa skladištarem. Tehnolog na temelju radnog naloga za proizvodnju radi krojne sheme i ako nedostaje materijal za izradu određenih dijelova, predaje se zahtjev voditelju nabave za određenim materijalom koji nedostaje. Voditelj nabave tada poduzima određene radnje za što bržu i povoljniju nabavu određenog materijala, te izrađuje narudžbenicu koju šalje dobavljaču. Narudžbenica sadrži popis materijala s količinama koje se naručuju, a primjer narudžbenice vidljiv je na slici 15. Neki materijali za kojima postoji stalna potražnja naručuju se u kontinuitetu prema potrebama poduzeća. Poduzeće ima razrađenu listu dobavljača koji udovoljavaju zahtjevima kvalitete nabavljenih materijala.

Identifikacijski broj : **00000000**

PRIMABIRO d.o.o
 40000 Ćakovac
 Zrinsko-Frankopanska 23
 OIB: 59042678148
 MBS: 070018352
 Tel/Fax: +00385 40 32 82 69

0175

MECHEL SERVICE STAHLHANDEL VETTING D.O
 Vilka Novaka 48K
 42000 VARAŽDIN
 REPUBLIKA HRVATSKA

NARUDŽBA NA - 1003 / 2013

Datum izrade: 22.05.2013

Rok isporuke: 23.05.2013

Način otpreme:

Valuta: KN

Rbr.	Artikl	JMJ	Količina	Cijena	Šifra	Dobavljač	JMJ	Količina	Cijena	Datum dostave
1	01A1252060	LIM 25x2000x6000 S235JR (DIN EN 10025-2)	kg	2355.00			kom	1.000		23.05.13
2	01A1251560	LIM 25x1500x6000 S235JR (DIN EN 10025-2)	kg	5298.75			kom	3.000		23.05.13
3	02G1060005	PL 60x5 - S235JR (DIN EN 10058)	kg	42.48			m	18.000		23.05.13
Ukupne količine po MJM :			kg	7,696.23						

Ukupna vrijednost narudžbe:

Napomena: RN 3-096

Limove isporučiti prema Tehničko dobavnim uvjetima - PB.TDU.001

(Limovi nesmiju biti jače korodirani i moraju biti potpuno ravni. Na svakom limu mora biti napisana kvaliteta materijala i broj šarže koja mora biti napisana i na otpremnici. Također prilikom otpreme potrebno je dostaviti i ateste prema EN 10204-3.1)

Bez priloženih atesta nećemo moći preuzeti limove

Vaša ponuda br : 01640 ; 01626

Slika 15. Narudžbenica [3]

Nakon zaprimanja narudžbenice dobavljač šalje odjelu nabave potvrdu narudžbe. Nakon toga nabava vrši kontrolu navedene robe u narudžbi, količini i cijeni. Nakon što se utvrdi usklađenost svih navedenih stavki s dobavljačem, slijedi definiranje roka isporuke.

Rok isporuke ovisi o nizu parametara kao što su: veličina narudžbe, specifičnost naručenog materijala, trenutna potražnja za istim materijalom na tržištu, udaljenost dobavljača i dr. Definiranjem roka isporuke, odjel nabave potvrđuje narudžbu dobavljaču, koji izrađuje otpremnicu, fakturu (račun), te dostavlja naručeni materijal.

Nakon što stigne materijal od dobavljača, skladištar vrši istovar robe na temelju otpremnice dobavljača, te se obaviještava odjel nabave koji u što kraćem roku sastavlja primku na temelju fakture dobavljača i dostavlja je skladištu. Po primitku primke skladištar otvara ulazni nalog - interni dokument unutar skladišta, te obavlja kvalitativno i kvantitativno preuzimanje uvažavajući prateće dokumente dobavljača: otpremnicu, dostavnicu ili račun. Nakon što završi preuzimanje, u primku unosi eventualne promjene i primku ovjerava potpisom. Tako obrađeni dokument se vraća u odjel nabave gdje se primka knjiži na računalu. Knjiženjem

primke materijal je evidentiran kao zaliha na skladištu. Materijal koji se dovozi, odlaže se u prijemnoj zoni, otkud se dalje skladišti na određene lokacije unutar poduzeća. Kriteriji za dodjeljivanje skladišnog mjesta su vrsta, kvaliteta i dimenzije materijala. Nakon što se materijal uskladišti, on ne mijenja svoju lokaciju do trenutka kad se javi potreba za tim materijalom u proizvodnji.

Ako ima materijala na skladištu, tehnolog naručuje materijal putem izdatnice na kojoj je definiran materijal i njegova količina, a on to može obaviti zato jer ima izrađen tehnološki postupak za određeni proizvod. Naime, tehnolog na temelju naloga za proizvodnju izrađuje sastavnice dijelova koje sadržavaju detaljan opis svih dimenzija i oblik dijelova koji će se proizvesti. Također u sastavnicu spada i izbor debljina i kvaliteta ploča iz kojih se dijelovi izrezuju, te izbor vrste materijala.

Zatim slijedi crtanje dijelova u AutoCAD sustavu. Posao crtanja obavlja tehnolog na temelju dobivenih naloga za narudžbu i na temelju sastavnice. Nakon završenog crtanja, izdaje se izdatnica za potreban materijal.

Slijedi izuzimanje materijala. Ovdje skladištar na temelju izdatnice traži prigodne cijele ploče lima ili ploče lima ostale od prijašnjih rezanja sukladno krojnoj skici i vrši se transport do obradnog mjesta na kojima će ploče biti izrezane.

Kreiranu krojnu skicu dobivamo tako da tehnolog na temelju limova izuzetih iz skladišta i sastavnice dijelova koja sadrži dimenzije dijelova, mora s alatom za izradu krojnih skica pripremiti materijal za rezanje na obradnim strojevima i time osigurati minimalnu količinu otpada.

Izvršavanje radnih operacija

Ovaj proces može započeti kad imamo materijal i kad je u proizvodnju predana dokumentacija u kojoj su definirane tehnološke operacije po redoslijedu izrade.

S obzirom na to da većina tehnoloških procesa započinje procesom rezanja lima, najviše materijala sa skladišta se prvo transportira do radnog mjesta gdje se reže lim, odnosno do CNC rezača. Materijal se doprema pomoću viličara i odlaže na za to predviđeno mjesto. Svaki materijal ima oznaku kvalitete i debljine kako nebi došlo do krivog izuzimanja materijala.

Transport materijala na sljedeća mjesta obrade definiran je tehnološkim procesom jer su njime definirane operacije po redoslijedu izrade, pa tako sljedeća mjesta obrade mogu biti: brušenje, glodanje, tokarenje, bušenje, savijanje, ravnanje, bravarski rad, itd.

Nakon što je materijal izrezan na prvom mjestu obrade, odnosno CNC strojevima, komisioner doprema materijal na sljedeće radno mjesto. Svaki materijal koji je izrezan, ima pripadajući nacrt sa upisanim redoslijedom operacija i komisioner doprema materijal na radna mjesta prateći redoslijed operacija upisan na nacrtu. Komisioner doprema materijal na radna mjesta pomoću ručnog viličara, ručnih kolica ili ručno, ovisno o veličini i količini materijala kojeg treba dopremiti na radno mjesto.

Svako radno mjesto ima prostor gdje se odlažu dijelovi koji se trebaju obraditi i prostor gdje se odlažu dijelovi koji su obrađeni na tom radnom mjestu. Dijelovi koji se ne mogu transportirati ručnim viličarem ili kolicima, transportiraju se pomoću motornog viličara do radnog mjesta, a ako to nije moguće, transportiraju se do mjesta s kojeg se mogu izuzeti mosnom dizalicom s kojom se dalje transportira materijal do radnog mjesta.

Radna mjesta gdje se obavlja bravarski rad, ravnanje ili savijanje, imaju uz radni stroj i konzolnu dizalicu jer tamo se uglavnom obrađuju veći i teži dijelovi, pa se na taj način olakšava rukovanje materijalom.

Nakon što je neki dio ili više njih u potpunosti obrađen, tada slijedi transport u susjednu halu gdje se odvija montaža. Transport gotovih dijelova obavlja komisioner pomoću ručnog viličara, ručnih kolica ili pomoću motornog viličara, ovisno o veličini i količini dijelova.

Međuoperacijska kontrola

Nakon svake operacije vrši se kontrola određenog dijela kako bi se provjerila ispravnost prijašnje obrade i na vrijeme zaustavila daljnja obrada određenog dijela ukoliko je došlo do pogreške prilikom prijašnje obrade.

Sastavljanje dijelova

Nakon što su svi dijelovi potrebni za izradu sklopa izrađeni, dolazi do njihove montaže. Montaža je podijeljena na nekoliko radnih stanica na kojima se sklapaju određeni podsklopovi, pa tako imamo radne stanice: kotao, poklopac, konzervator i dodatna oprema. Uz svaku radnu stanicu nalaze se polični regali na kojima se nalaze dijelovi potrebni za

sklapanje određenog podsklopa. Polični regali imaju oznake sa brojem radnog naloga i oznaku pripadnosti radnoj stanici. Oznaka za pripadnost određenoj radnoj stanici je također upisana na nacrt svakog različitog dijela i na taj način se olakšava posao komisioneru tijekom transportiranja gotovih dijelova iz jedne hale u drugu.

Zaštita od korozije

U procesu zaštite od korozije pojedini dijelovi kućišta transformatora premazuju se zaštitnim sredstvom koje štiti od korozije. Dijelove je prije potrebno očistiti da bi antikorozivni premaz imao efekta. Čišćenje dijelova se obavlja procesom pjeskarenja.

Po završetku pjeskarenja, dijelovi se šalju na antikorozivnu zaštitu, tj. na premazivanje zaštitnim sredstvima. Premazani dijelovi se zatim moraju osušiti kako bi zaštita bila što kvalitetnija.

Otprema

Nakon što se dijelovi kućišta transformatorskog kotla osuše, oni se sastavljaju i pakiraju u veće dijelove pogodne za transport. Zapakirani dijelovi su zatim spremni za utovar i transport do kupca gdje će biti sastavljeni.

Tijek odvijanja procesa od početka izrade dijelova pa do otpreme gotovog proizvoda prikazan je na slici 16.



Slika 16. Proces u poduzeću Primabiro d.o.o.

4. Simulacijski alati u analizama proizvodnih sustava i procesa

4.1 Simulacija i simulacijski jezici

Simulacija je oponašanje realnih stvari, stanja ili procesa. Simulacijom želimo odrediti utjecaj promjene određenih varijabli na ponašanje odabranog fizičkog ili apstraktnog sustava. Simulacija se koristi u mnogim prilikama, uključujući modeliranje prirodnih i ljudskih sustava. U tehnici se simulacije koriste za poboljšanje karakteristika, povećanja sigurnosti, te samo testiranje sustava, a vrlo često i za obuku i obrazovanje ljudi. Simulacije se koriste i za prikaz stvarnih učinaka koje neki sustav ima na okoliš. [6]

Postoji više vrsta simulacija, a kao najvažnije koriste se fizička, interaktivna i računalna simulacija. Fizička simulacija je simulacija u kojoj su stvarni objekti zamijenjeni za objekte manjih dimenzija i od jeftinijeg materijala nego što je stvarni sustav. Veličina objekata ovisi o stvarnom sustavu te koje varijable tog stvarnog sustava želimo ispitati, ali veličine moraju biti takve da daju vjerodostojne rezultate u kratkom vremenu. Primjer su različite makete postrojenja, građevina ili prirodnih pojava.

Interaktivna simulacija može se shvatiti kao jedva vrsta fizičke simulacije, za razliku od pravih fizičkih simulacija, u interaktivnoj simulaciji pojavljuje se i čovjek u interakciji sa nekim od sustava. Primjer interaktivne simulacije je simulator letenja za pilote ili simulacija svemirske šetnje. [6]

Računalna simulacija je pokušaj da se stvarna pojava, stanje ili proces prebaci u računalu razumljiv niz naredbi i funkcija. U takvome modelu mogu se proučavati promjene utjecajnih varijabli, te konačan odgovor sustava na te promjene. Sustav može biti objekt ili proces, realni (postojeći) ili apstraktni (planirani). Pa tako simulirani sustavi mogu biti:

- Proizvodni sustavi (automobilska industrija, procesna industrija, itd.)
- Biomedicinska i farmakološka industrija (proizvodnja lijekova, cjepiva, itd.)
- Transportni sustavi (zračni, kopneni i pomorski promet)
- Ostali sustavi generalne namjene (uslužne djelatnosti, itd.) [7]

Ljudi obično proučavaju sustav kako bi mu izmjerili performanse, unaprijedili njegove procese ili stvorili nešto čega još nema. Voditeljima postojećih sustava je korisno imati pripremljen model sustava koji bi im pomogao kod odluke što učiniti, ako na primjer, važan stroj prestane raditi.

Postoje fizički modeli i logički (matematički) modeli.

Fizički model je takav model koji po svojim fizičkim svojstvima odgovara objektu kojeg predstavlja, dok se matematički model može definirati kao skup matematičkih relacija koje opisuju ili definiraju vezu između pojedinih fizičkih veličina u promatranom procesu.

Simulacije su vrlo korisne kad je preteško ili preskupo raditi promjene na postojećem sustavu, a koje na kraju neće donijeti bolje rezultate. Tada se ove promjene koje želimo učiniti rade na modelu sustava i na taj način se može provjeriti učinak promjena, bez da ih mi primjenimo na postojeći stvarni sustav.

Postoje više klasifikacija simulacija, a jedan od najboljih načina njihovog klasificiranja je ovaj:

- Statička i dinamička – vrijeme ne igra ulogu u statičkim modelima, ali igra u dinamičkim modelima.
- Kontinuirana i diskretna (diskontinuirana) – u kontinuiranom modelu, stanje sustava se može promijeniti kontinuirano s vremenom, dok u diskretnom modelu promjene stanja sustava nastaju zbog određenih okolnosti. S obzirom na to da se u realnim sustavima simultano odvija veći broj diskretnih (diskontinuiranih) događaja, jedini način da se prouči ponašanje tog sustava je oponašanje zbivanja u sustavu.
- Deterministička i stohastička – modeli koji imaju točno određene ulazne varijable su deterministički, dok stohastički modeli imaju i nasumične ulazne varijable. Model može imati i određene i nasumične ulazne varijable.

Na početku su ljudi simulacije izvršavali ručno (primjer Buffon-ov eksperiment sa iglom 1733.), da bi se kasnije razvojem računala u 50-im i 60-im godinama prošlog stoljeća, pojavili prvi viši programski jezici (FORTRAN, ALGOL, COBOL, BASIC) kako bi se radile simulacije sa kompliciranijim sustavima. No ubrzo se pokazalo da za rješavanje nekih specijalnih vrsta problema, uporaba viših programskih jezika nije dovoljno efikasna sa stajališta istraživača, jer zahtijeva gotovo savršeno poznavanje jezika i mogućnosti računala koje je na raspolaganju. [6]

Potaknuti željom da sistemskim analitičarima (i ostalima koje zanima operativno istraživanje) omoguće jednostavno programiranje svojih problema iz područja simulacije, znanstvenici iz područja računalnih znanosti razvili su čitav niz jezika za specijalnu uporabu, i u području

pojava sa kontinuiranim promjenama stanja i za pojave s diskretnim promjenama stanja (varijabli). Od uistinu velikog broja simulacijskih jezika od šireg su značenja uglavnom: GPSS, SIMSCRIPT, GASP i SIMULA te DYNAMO. [2]

Osnovni cilj simulacijskih jezika je olakšavanje izgradnje modela i programiranje, a iz toga slijedi nužnost *orijentiranosti problemu* kao osnovne značajke svih simulacijskih jezika kao tipičnih predstavnika problemski orijentiranih jezika. Svaki simulacijski jezik je zasnovan na nekim pravilima sintakse i semantike. Jezici za diskretnu simulaciju opisani su prema aktivnostima, događajima i procesima. [2]

Aktivnost je najmanji, elementarni zadatak unutar sustava koji može definirati istraživač i autor programa, a u programskome smislu može se razložiti na početak i završetak. Događaj je trenutna promjena stanja nekog elementa modela (aktivnog ili pasivnog). Svojom definiranom relacijom događaj može inicirati neku aktivnost koja se počinje izvršavati ako su ispunjeni uvjeti propisani za to, ili se (ako uvjeti nisu ispunjeni) njezino izvršenje odgađa za kasnije. Da bi se sve ovo moglo izvoditi nesmetano, nužno je postojanje posebnog mehanizma – mehanizam rasporeda – što zapravo u svakom trenutku simulacije označuje svedenu sliku (vremensku) svih aktivnosti i odgovarajućih adresa na koje se prenosi kontrola izvođenja programa nakon realizacije određenih događaja. Proces označuje logički povezan skup svih aktivnosti u nekom sustavu. [2]

4.2 Povijest simulacije i njezina važnost u današnjem svijetu

S razvojem računala povećale su se i mogućnosti simulacijskih jezika i softvera pa stoga danas simulacije ulaze u sferu sveukupnog ljudskog djelovanja.

U kasnim 1950-ima i 1960-ima, simulacija je bila vrlo skupa i koristile su je uglavnom velike i moćne organizacije i korporacije jer su simulacije zahtjevale velika kapitalna ulaganja. Te organizacije okupile bi tim stručnjaka, uglavnom doktora znanosti, koji bi radili na razvijanju velikog i kompleksnog simulacijskog modela, koristeći pritom, u ono vrijeme dostupne programske jezike, kao što je na primjer FORTRAN. [6]

Korištenje simulacija kakvo znamo danas, počelo je u 1970-im i u ranim 1980-im godinama. Računala su postajala sve brža i jeftinija, a vrijednosti simulacija otkrile su brojne industrije. No, i tada još simulacija nije bila toliko proširena sve dok nije došlo do nekog neželjenog događaja odnosno greške. Tada je simulacija postala izbor mnogih industrija, posebice u automobilske i teške industriji, kako bi se utvrdio razlog zbog čega je došlo do greške. Za to vrijeme, simulacije su našle primjenu i u mnogim akademskim institucijama kao standardni dio industrijskog inženjerstva i operacijskih istraživanja. [6]

U kasnim 1980-ima, simulacija je počela ostavljati svoj trag i u biznisu. Iako su se simulacije i dalje koristile za analizu grešaka u sustavima, simulacije su se počele primjenjivati i prije nego što je neki sustav uopće i nastao. Na taj način se mogla provjeriti isplativost ulaganja u razvoj i stvaranje nečeg novog. Krajem 1980-ih, velika poduzeća su prepoznala važnost simulacije, ali simulacije i dalje nisu bile raširene ni korištene u malim poduzećima. [6]

Tek 1990-ih dolazi do pravog procvata simulacije. Mnogo manjih poduzeća je već u samom početku svoga razvoja prigrllilo simulaciju kao jedan od alata uz pomoć kojeg će se razvijati. Brža i jača računala, veće mogućnosti korištenja i laka integracija sa ostalim programskim paketima je pomogla da simulacija postane jedno od osnovnih razvojnih alata u poduzećima. Promijenila se i narav korištenja simulacija, naime simulacije se sada više koriste već u konstrukcijskoj fazi i često se samo ažuriraju usporedno sa promjenama koje se rade u sustavu koji se promatra. Takav rad predstavlja simulacijski model koji se može koristiti u vrlo kratkom roku jer nije potrebno graditi cijeli model ispočetka, dovoljno je samo unijeti novonastale promjene. [6]

Razvoj simulacije u zadnjih nekoliko godina jako se ubrzao i s pravom se može vjerovati da će se takav trend nastaviti i u budućnosti. Simulacije u današnje vrijeme nalaze primjenu u raznim sferama ljudskog djelovanja, a jedan od razloga je i njihova jednostavnost primjene i za korisnika početnika.

U budućnosti se očekuje razvoj simulacija koje će biti posebno okrenute određenoj industriji ili poduzeću, kako bi se analitičarima olakšao posao. Takve simulacije će omogućiti analitičarima da brže i lakše naprave potreban model čak i za specifična okruženja.

S ubrzanim razvojem softvera u računalima, vrlo je teško predvidjeti kako će simulacije izgledati u daljnjoj budućnosti, ali već sada možemo vidjeti razvoj i implementaciju raznih

značajki kao što su automatska statistička analiza, softver koji predlaže promjene u sustavu, simulacije integrirane sa operacijskim softverom sustava i virtualnu stvarnost.

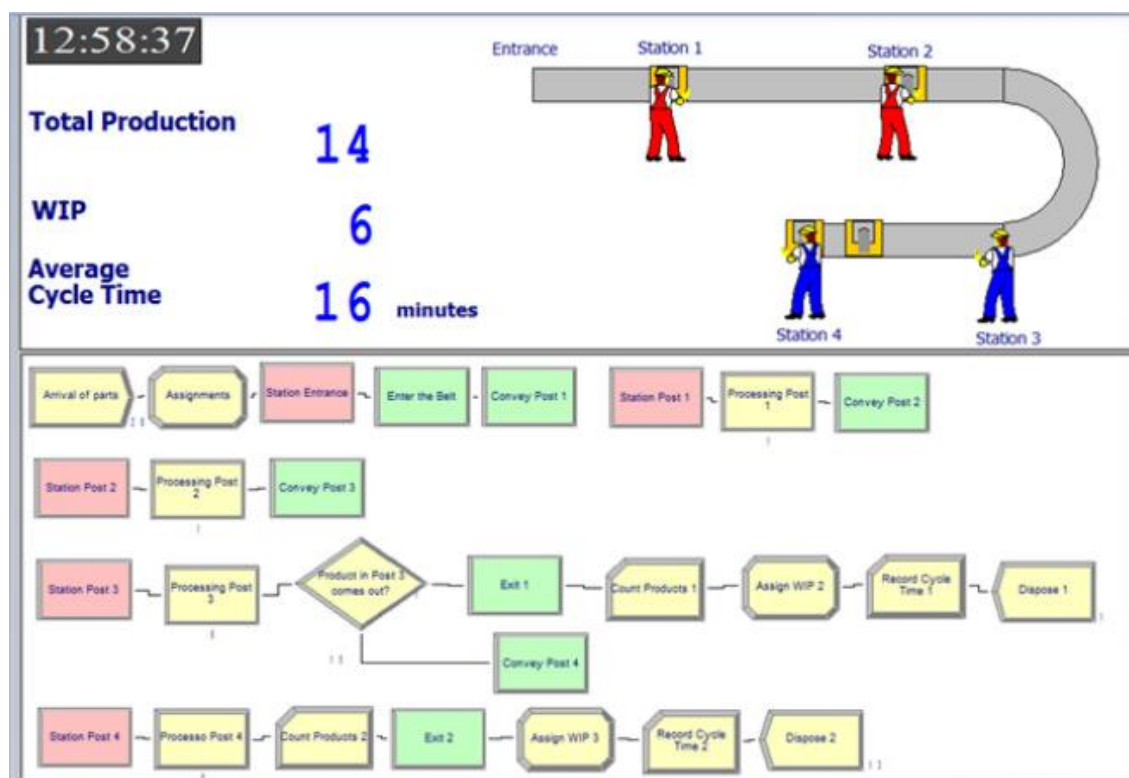
4.3 Simulacijski softveri za modeliranje i simulaciju proizvodnih sustava i procesa

4.3.1 ARENA

ARENA je softver za simulaciju i automatizaciju. Koristi SIMAN jezik za izradu simulacijskih modela. Koriste je brojne tvrtke koje se bave simulacijama, npr. General Motors, UPS, IBM, Nike, Xerox, Lufthansa, Ford Motor Company i dr. [6]

Najvažnije karakteristike simulacijskog softvera ARENA su mogućnost projektiranja i simulacije proizvodnog procesa na temelju realističnih podataka, te “user-friendly” sučelje koje omogućuje korisniku brzu izgradnju i optimizaciju modela. Također, moguće je i pokretanje i zaustavljanje izvršenja simulacije na temelju rubnih uvjeta:

- točno određenog vremenskog perioda, primjerice završetak radne smjene (nakon 8 sati)
- određenih količina proizvoda, primjerice 1000, 2000, 5000 komada i slično



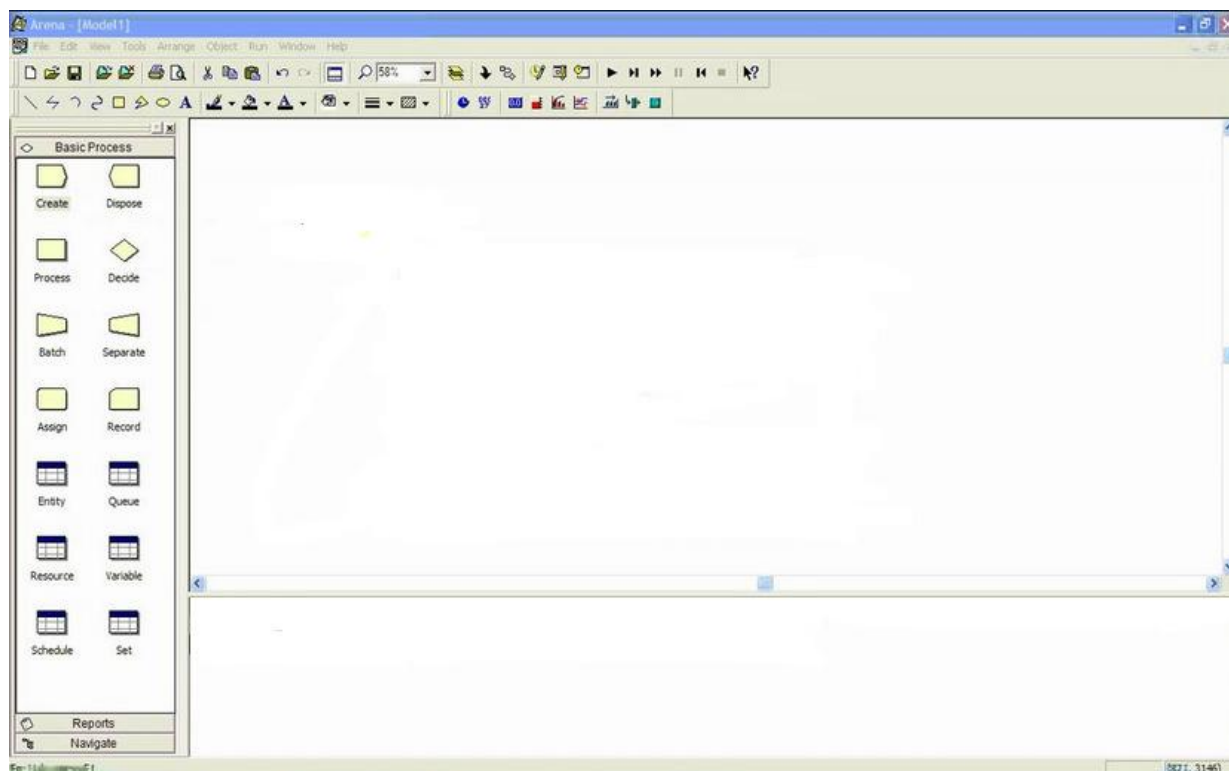
Slika 17. Prikaz radne površine s osnovnim elementima proizvodnje i 2D animacijom [7]

Simulacijski softver ARENA omogućuje modeliranje procesa u svrhu analize, optimizacije, dokumentiranja ili komunikacije s korisnikom. Moguća je i simulacija budućih izvedbi scenarija, npr. proizvodnog procesa, analiza veza između pojedinih entiteta, te identifikacija uskih grla. Arena je dobar i pouzdan softver za analizu postojećeg stanja sustava, ali i za projektiranje novog proizvodnog sustava. Vizualizacija operacija napravljena je pomoću 2D grafova ili 3D animacija.

ARENA pruža maksimalnu fleksibilnost i širinu aplikacija pokrivenosti za modeliranje bilo koje željene razine detalja i složenosti. ARENA se obično koristi za poslovnu analizu poduzeća i kao alat za povećanje produktivnosti. Ciljani korisnici su konzultanti i analitičari poslovnih procesa ili inženjeri industrijskih sustava.

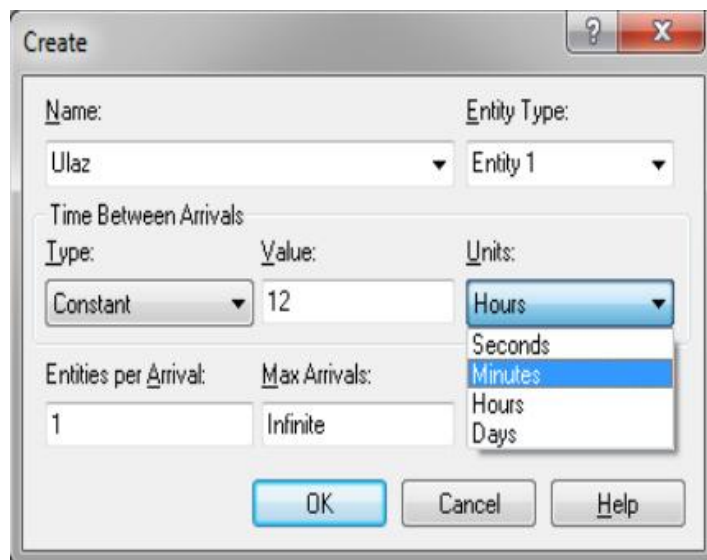
Otvaranjem ARENA softvera pojavljuje nam se početni zaslon na kojem s lijeve strane imamo glavni izbornik u kojem se nalaze osnovni procesi. Na desnoj strani nalazi se prostor za prikaz dijagrama toka, a ispod njega je prozor za prikazivanje proračunskih tablica.

Svaki tijek procesa započinje dodavanjem Create modula jednostavnim „drag and drop“ načinom iz glavnog izbornika u prozor dijagrama toka. Dodavanjem modula automatski se pojavljuje prikaz modula u prozoru proračunskih tablica.



Slika 18. Početni prozor softvera ARENA

Za svaki element postoji mogućnost detaljnog uređivanja kao što je vidljivo na slici 19. Tako na primjer dvostrukim klikom na Create, pojavljuje nam se podizbornik u kojem možemo definirati ime procesa, njegov tip, vrijeme obavljanja operacija sa tipom raspodjele, itd.



Slika 19. Podešavanje parametara u ARENA softveru [7]

4.3.2 DOSIMIS-3

Dosimis-3 je trenutno na tržištu među vodećim simulacijskim softverima u inženjerstvu. Od svog osnutka, prije 25 godina, neprekidan razvoj aplikacije je doveo do vodeće uloge u svijetu simulacija.

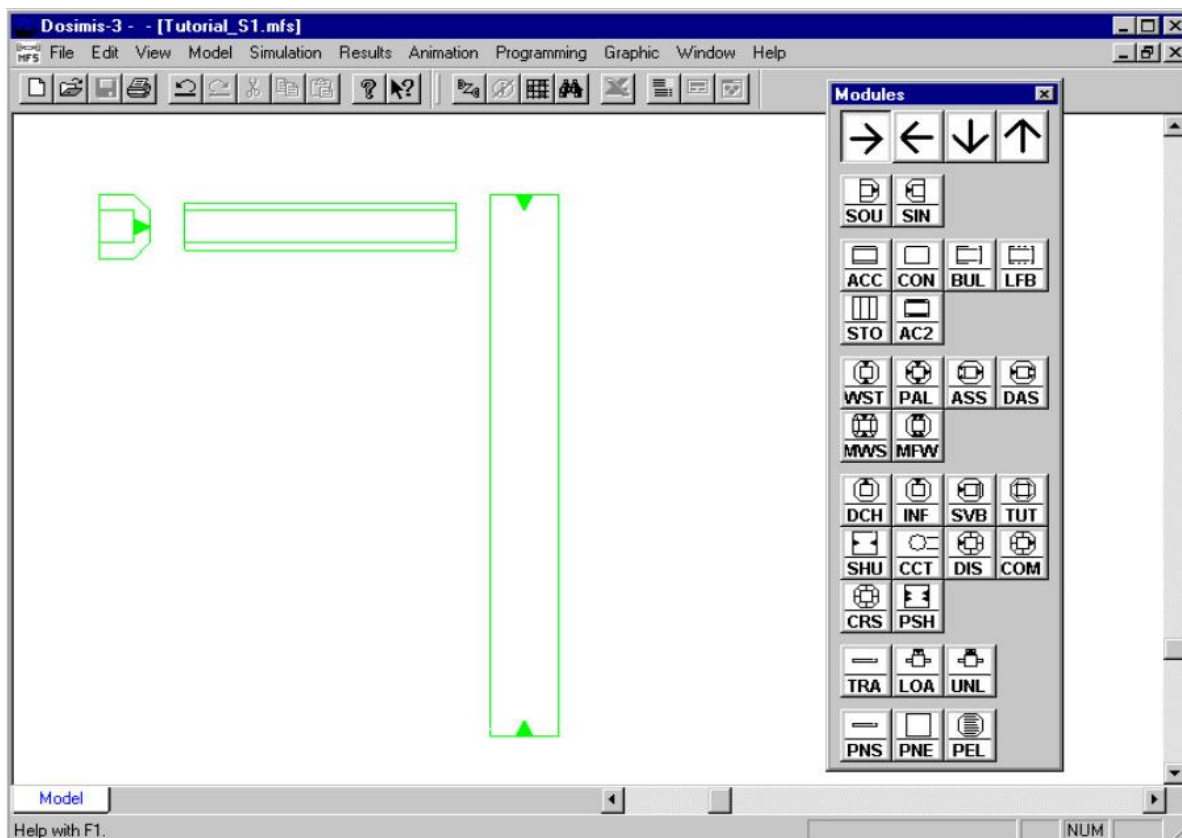
Rad u Dosimis-3 nam je omogućen preko jednostavnog i intuitivnog korisničkog sučelja koji je prikazan na slici 21., visokih performansi, gdje se posebno stavlja naglasak na statističke metode koje su dostupne korisnicima. Alat koji je univerzalan i svestran da zadovolji sve zahtjeve vezane uz planiranje i optimizaciju procesa, proizvodnju i lance nabave. [8]

Dosimis-3 omogućuje svojim korisnicima simulaciju proizvodnje za cijelu godinu u roku od samo nekoliko minuta. Uz to, moguća je i simulacija svih potrebnih logističkih procesa koji se pojavljuju u proizvodnji ili skladišnim procesima, od početnog prijema sirovine, pa kroz proizvodnju, sve do isporuke kupcu.



Slika 20. Prikaz 3D modela izrađenog u DOSIMIS-3

Raširenost ovog simulacijskog softvera dokazuju i mnoga poduzeća u svijetu koja ga koriste u svom poslovanju: Audi, BMW, Škoda, Siemens, Nokia, Bayer Chemicals, Berger, Bosch, DHL, Deutsche Post, Electrolux, Porsche Leipzig, SAS France, Seat, VW i mnogi drugi. [8]



Slika 21. Prikaz sučelja DOSIMIS-3 softvera

Kao što se vidi na slici 21., sučelje simulacijskog softvera DOSIMIS-3 sastoji se od dva prozora, Modules (objekti) i Work area (radni prostor). U prozoru Modules možemo birati između atoma koji su nam potrebni kod izrade simulacije te kod određivanja toka materijala kroz sam proces. Atomi koji se nalaze u Modules prozoru uglavnom su atomi koje susrećemo i kod drugih simulacijskih softvera, pa tako ovdje imamo: Accumulation conveyor (BFS), Source (SOU), Shuttle (SHU), Work station (WST), Combining Station (COM), Distributor (DIS), Sink (SIN), itd.

Nakon što unesemo potrebne atome u prostor za model, potrebno je uspostaviti odnose između atoma, a potrebni parametri se mogu podesiti na svakom pojedinom atomu. Na slici 22. prikazan je prostor za unos parametara za atom Shuttle.

Parameter input for module type shuttle

Number: 3 Name: SHU_3 Comment:

Parameter | Strategy | Attributes | Costs | Layer selection ☐ Info-Element

Loading path [m]: 1.1 Loading speed [m/s]: 0.2 Basic position: 0

Unloading path [m]: 0.1 Unloading speed [m/s]: 0.2 Speed slow [m/s]: 0.1

Slowly driven path [m]: 0.5 Speed fast [m/s]: 1 Y-speed low [m/s]: 0

Y-slowly driven path [m]: 0 Y-speed high [m/s]: 0

☒ Entrance(s) ☒ Exit(s)

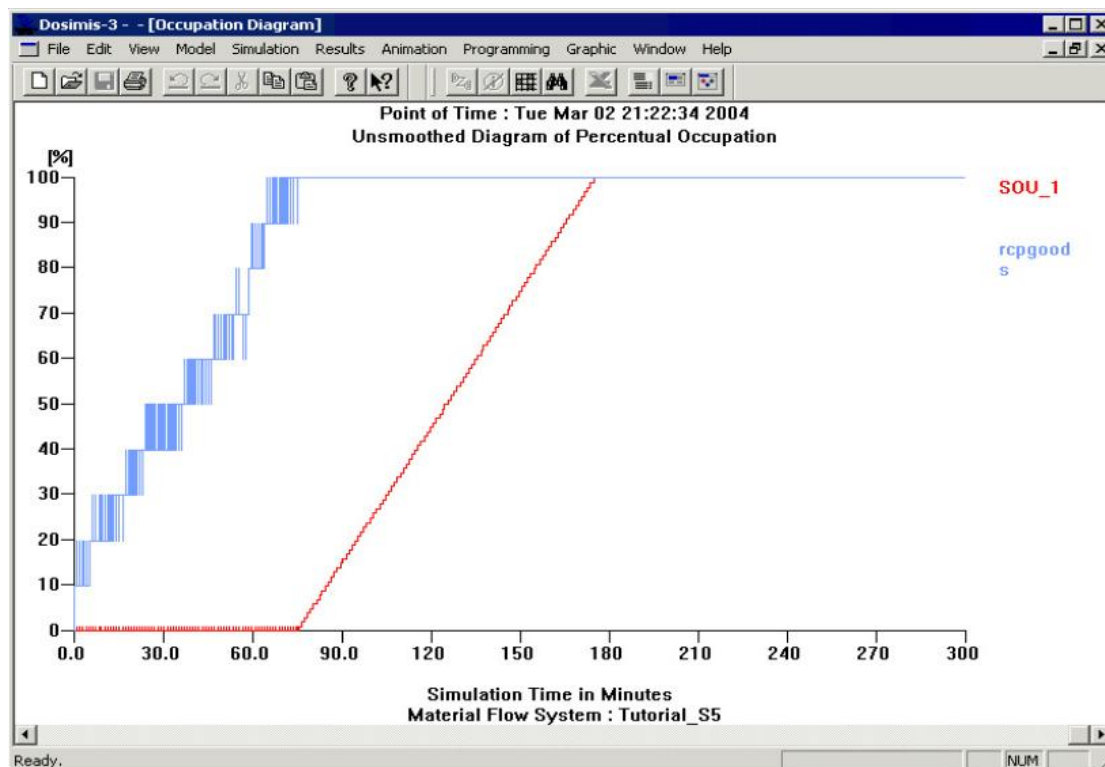
No.	Junction	From module	No.	No.	Junction	To module	No.
1	2	rcpgoods	2	1	15	ACC_Above	6
2	14	ACC_13	13	2	16	ACC_Below	4

Entrance	Pos [m]	Height [m]	Exit	Pos [m]	Height [m]
1	0	0	1	20	0
2	15	0	2	25	0

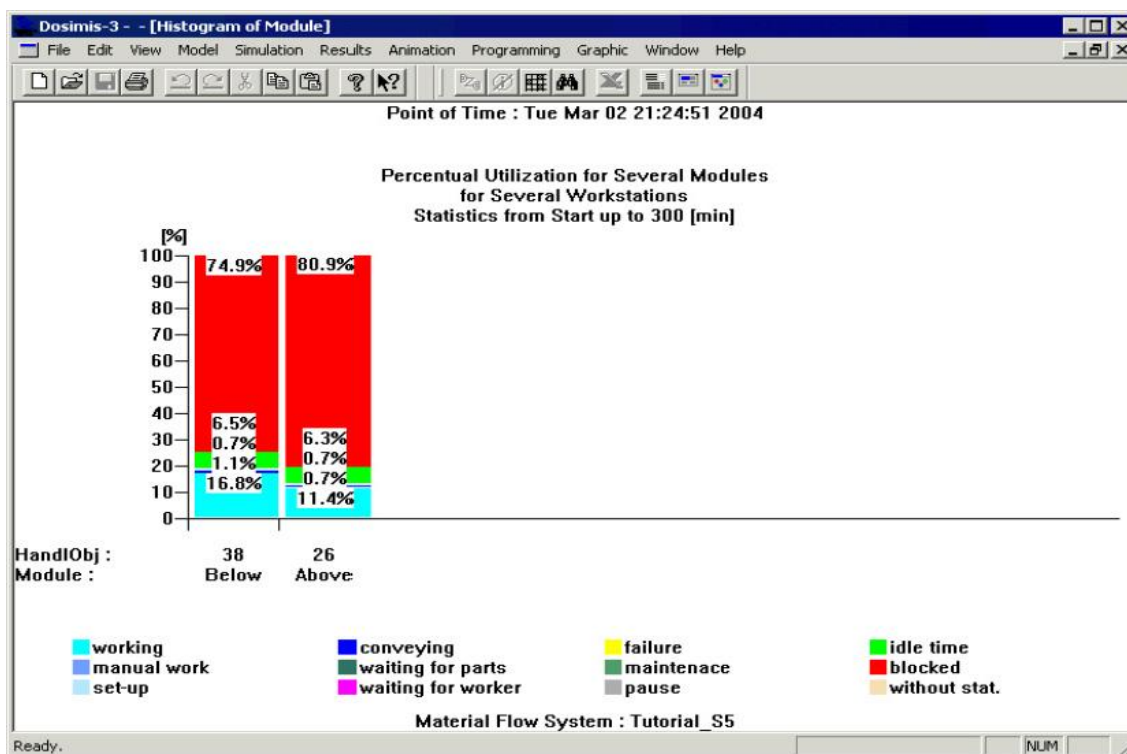
Slika 22. Prikaz unosa parametara za atom Shuttle

Simulaciji procesa može se pristupiti nakon što se unesu potrebni parametri kod svakog atoma i nakon što se uspostavi veza između njih. Mogu se podesiti i parametri same simulacije, pa tako možemo odrediti vrijeme trajanja simulacije i vremenski interval nakon kojeg se skupljaju podaci za statističku obradu.

Rezultati simulacije prikazuju se pomoću dva dijagrama, dijagram zauzeća i histogram modela. Kod histograma modela najvažnije stavke za analizu su vremena “working“, “set up“, “idle time“ i “conveying“. Slike 23. i 24. ilustriraju prikaz rješenja u simulacijskom paketu DOSIMIS-3.



Slika 23. Prikaz rješenja dijagramom zauzeća



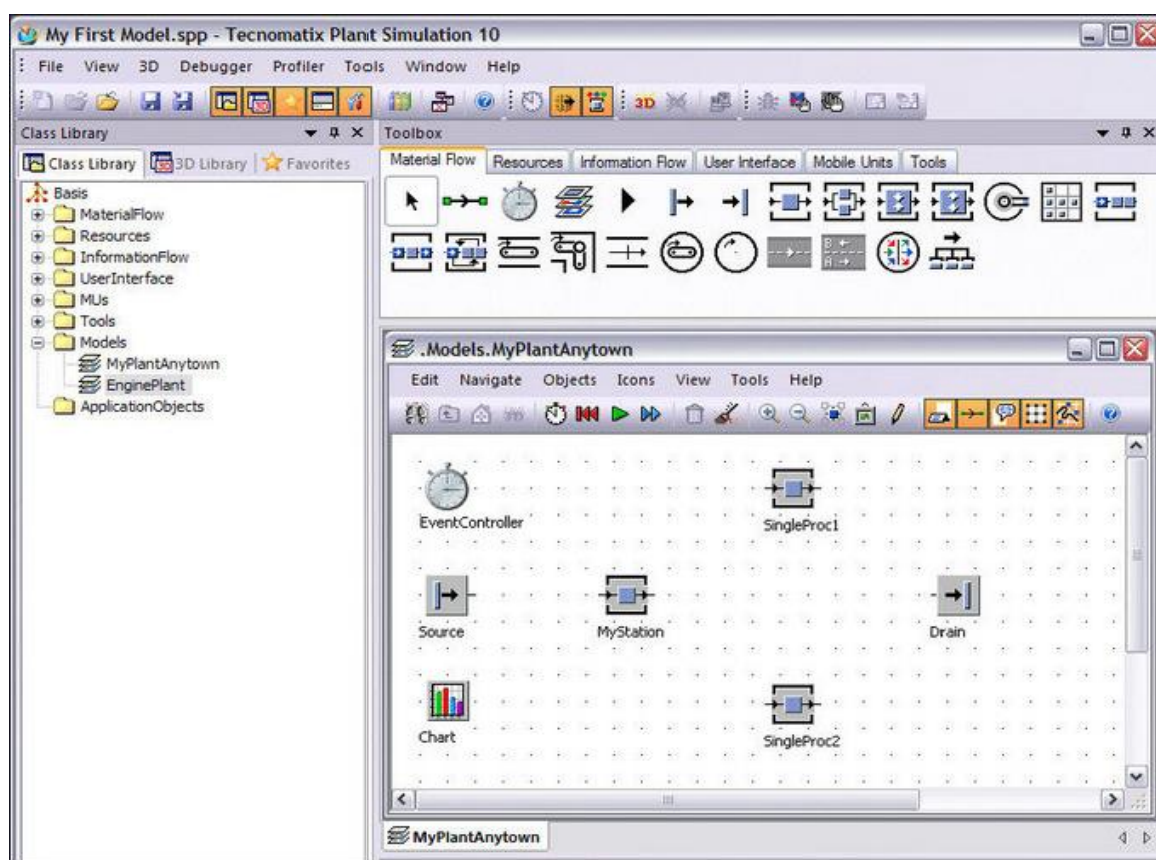
Slika 24. Prikaz rješenja histogramom

4.3.3 Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation je simulacijski softver za modeliranje, simulaciju, analizu, vizualizaciju i optimizaciju proizvodnih sustava i procesa, toka materijala i logističkih operacija. Ovaj softver koriste i individualni proizvodni planeri, ali i multinacionalne kompanije, prvenstveno za prostorno određenje (plant layout). To je jedan od najvećih softvera ove vrste na tržištu. [9]

Prednosti korištenja Plant Simulation softvera su višestruke. On omogućava korisniku izvođenje “što ako” (“what if”) scenarija bez eksperimentiranja sa stvarnim proizvodnim sustavom. Moguća je integracija sa drugim aplikacijama i softverima, pa je tako moguć unos podataka u simulaciju iz programa AutoCad, Excel, itd. Plant Simulation daje razumljive analize uskih grla (Bottleneck Analyzer). Moguć je prikaz proizvodnje u 2D ili 3D. [9]

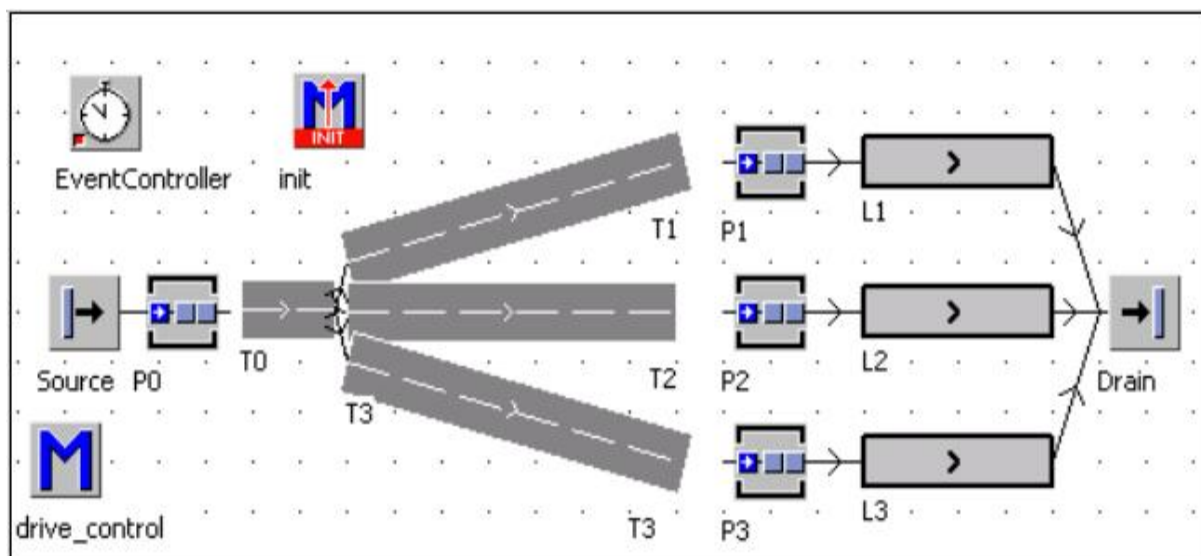
Plant Simulation se koristi u automobilskoj industriji, zračnoj industriji, industrijskom inženjerstvu, procesnoj industriji, elektroničkoj industriji, zračnim lukama, logističkim poduzećima (transportna logistika, skladišna logistika), brodogradilištima, itd.



Slika 25. Prikaz sučelja Plant Simulation softvera

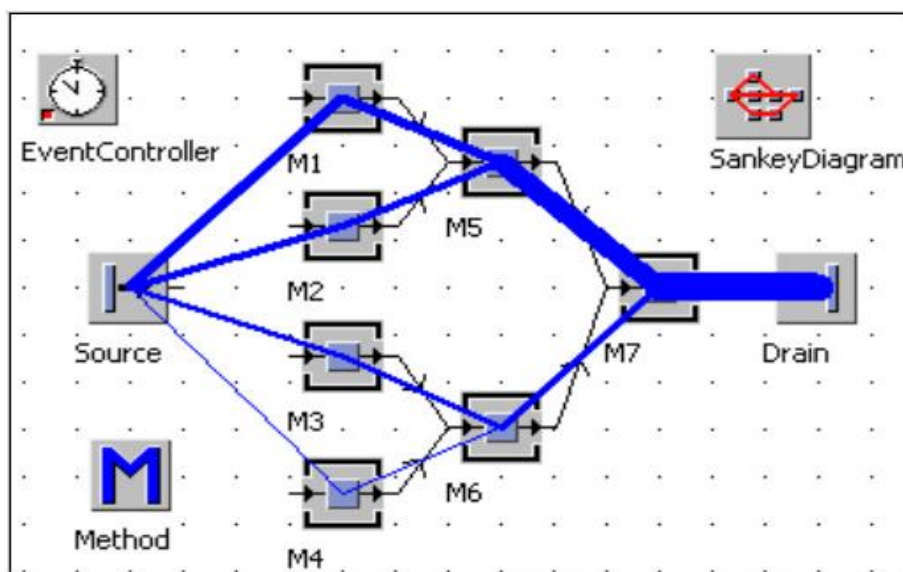
Na slici 25. vidi se sučelje Plant simulation softvera koje se sastoji od “class library” prozora koji se nalazi na lijevoj strani, “tool box” prozora i prozora za simulaciju.

Class library prozor je prozor u kojem se mogu naći svi objekti potrebni za simulaciju. Mogu se kreirati vlastite mape ili dodavati objekti iz drugih simulacijskih modela. “Toolbox” prozor omogućava brz pristup objektima iz “class library” prozora. U prozor za simulaciju ubacuju se objekti potrebni za simulaciju.



Slika 26. Prozor za simulaciju u Plant Simulation softveru

Rezultati simulacije mogu se prikazati u različitim oblicima: preko tablica, histograma, gantograma i Sankeyevog dijagrama koji je prikazan na slici 27.



Slika 27. Sankeyev dijagram u Plant Simulation softveru

4.3.4 Flexsim

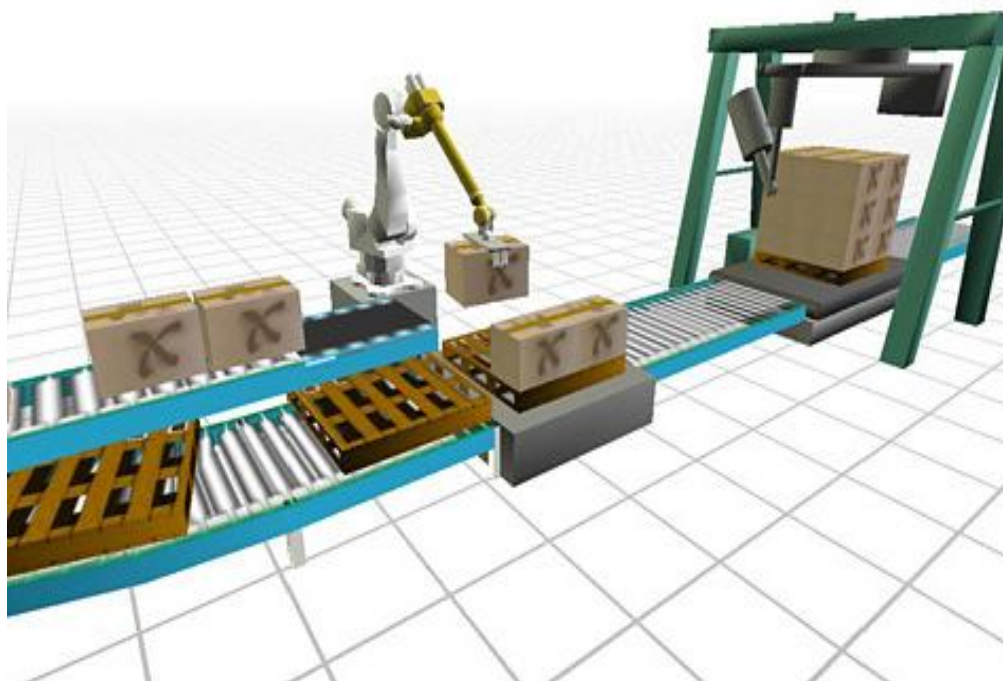
Flexsim je moćan alat za analizu koji pomaže inženjerima donijeti pametne odluke kod konstruiranja i djelovanja sustava. Sa Flexsim-om možemo napraviti 3D računalni model postojećeg sustava i proučavati taj sustav u mnogo bržem vremenskom okviru i za puno manje troškove, nego što bi to imali sa stvarnim sustavom. [10]

Flexsim radi na principu “what if”, analize gdje se promjenom ulaznih parametara dobije brza povratna informacija o utjecaju tih promjena na ukupan proces.

Sa Flexsim-om mogu se riješiti tri osnovna problema:

1. Problem usluge – potreba da se zahtjevi klijenata riješe uz njihovo najveće zadovoljstvo, ali uz najmanje troškove
2. Problem proizvodnje – potreba da se napravi pravi proizvod u pravo vrijeme i uz najmanje moguće troškove
3. Logistički problem – nabaviti proizvod u pravo vrijeme na pravom mjestu uz najmanje moguće troškove

Ovdje se simulacija izrađuje pomoću 3D objekata u 3D prostoru, koristeći pritom grafičko sučelje koje se koristi kod suvremenih računalnih igara, sve s ciljem što zornijeg i realnijeg prikaza simulacije. Izrada modela je jednostavna i radi na principu “drag and drop”.

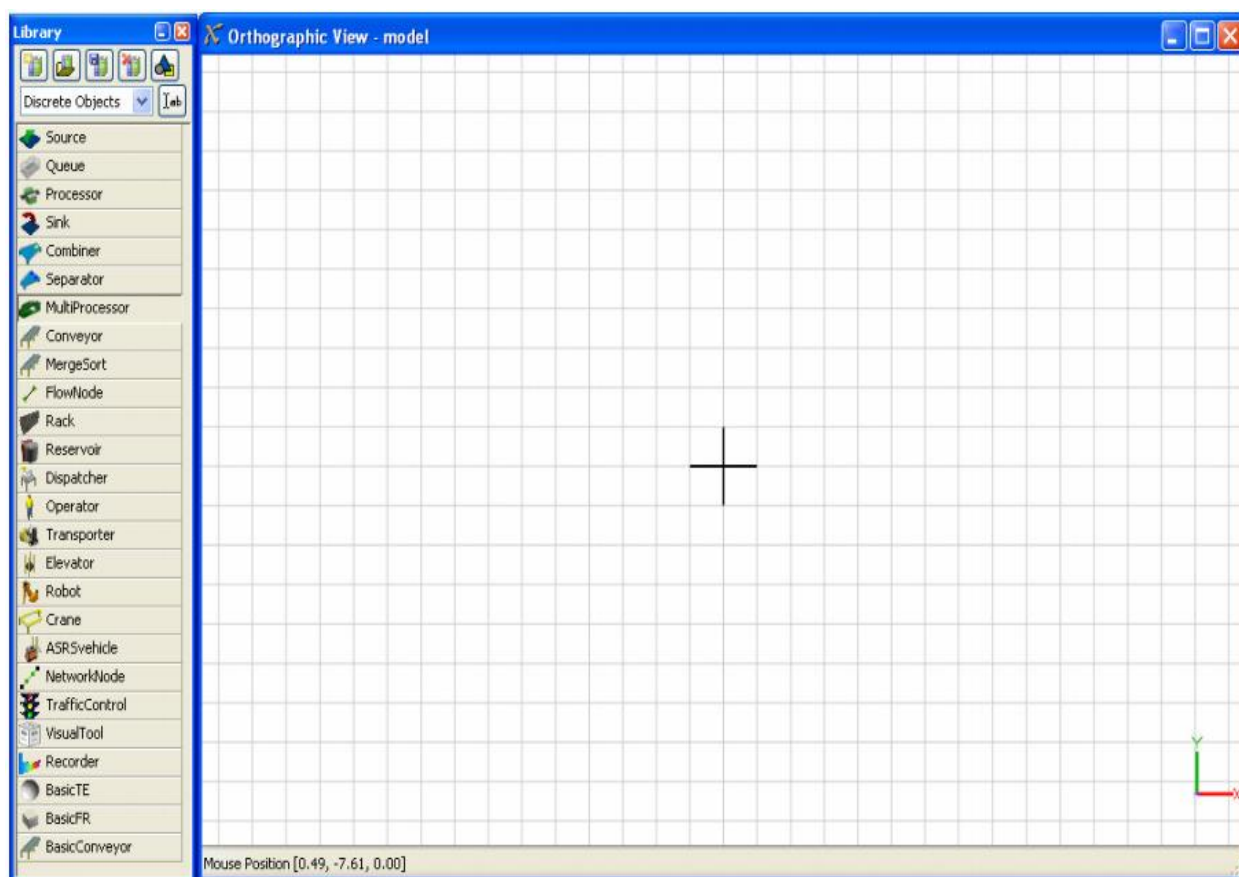


Slika 28. Prikaz 3D objekata u Flexsim softveru

Flexsim simulacijski softver daje nam mogućnost da u sam model postavimo dijagrame i histograme kako bi mogli pratiti proces za vrijeme trajanja simulacije. Rješenja simulacije moguće je tablično prikazati u MS Excel programu.

Ponekad projektanti modela, u kompleksnijim modelima, ne postave parametre modela na način da bi nam model dao svoj optimum. Za takve slučajeve vrlo je koristan alat OptQuest, koji na temelju logičkih veza predloži optimalno rješenje za model izrađen od postavljenih atoma.[10]

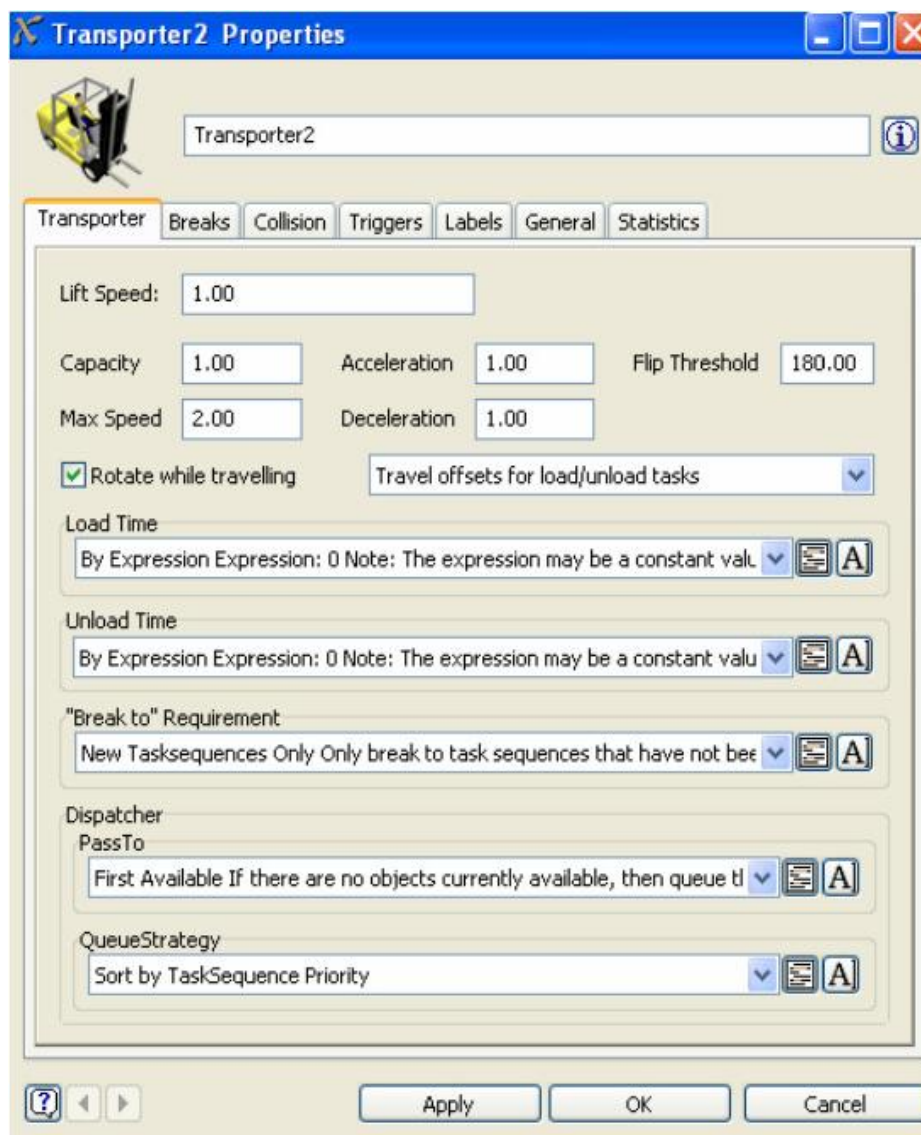
Sučelje Flexsim simulacijskog softvera sastoji se kao i većina softvera za simulaciju logističkih procesa od “library prozora” i radnog prostora za izradu modela prikazanog na slici 29.



Slika 29. Prikaz radnog prostora u Flexsim simulacijskom softveru

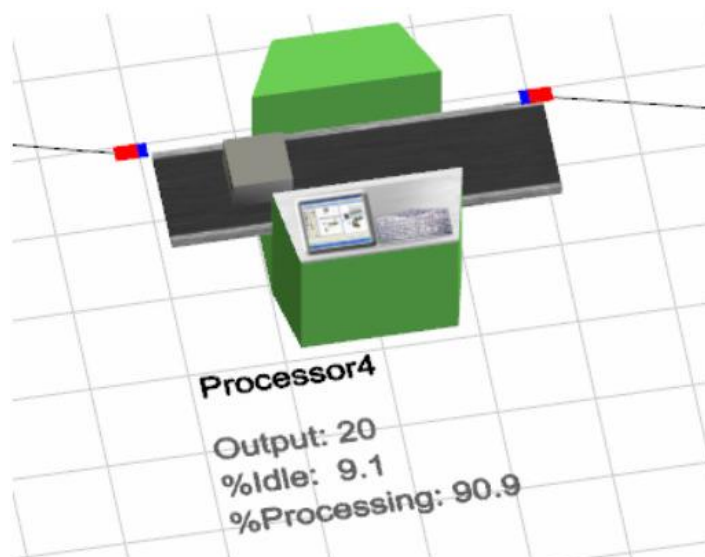
Atomi koji se koriste većinom su jednaki ili slični kao i kod ostalih simulacijskih softvera: sink, source, queue, conveyor, transporter, operator i dr. Nakon postavljanja svih potrebnih atoma u prostor za model, rade se veze između atoma jednostavnim povlačenjem od polaznog

atoma do krajnjeg u lancu atoma. Nakon toga slijedi unošenje parametara za svaki pojedini atom. Na slici 30. prikazan je prozor za unos parametara na atomu transporter.

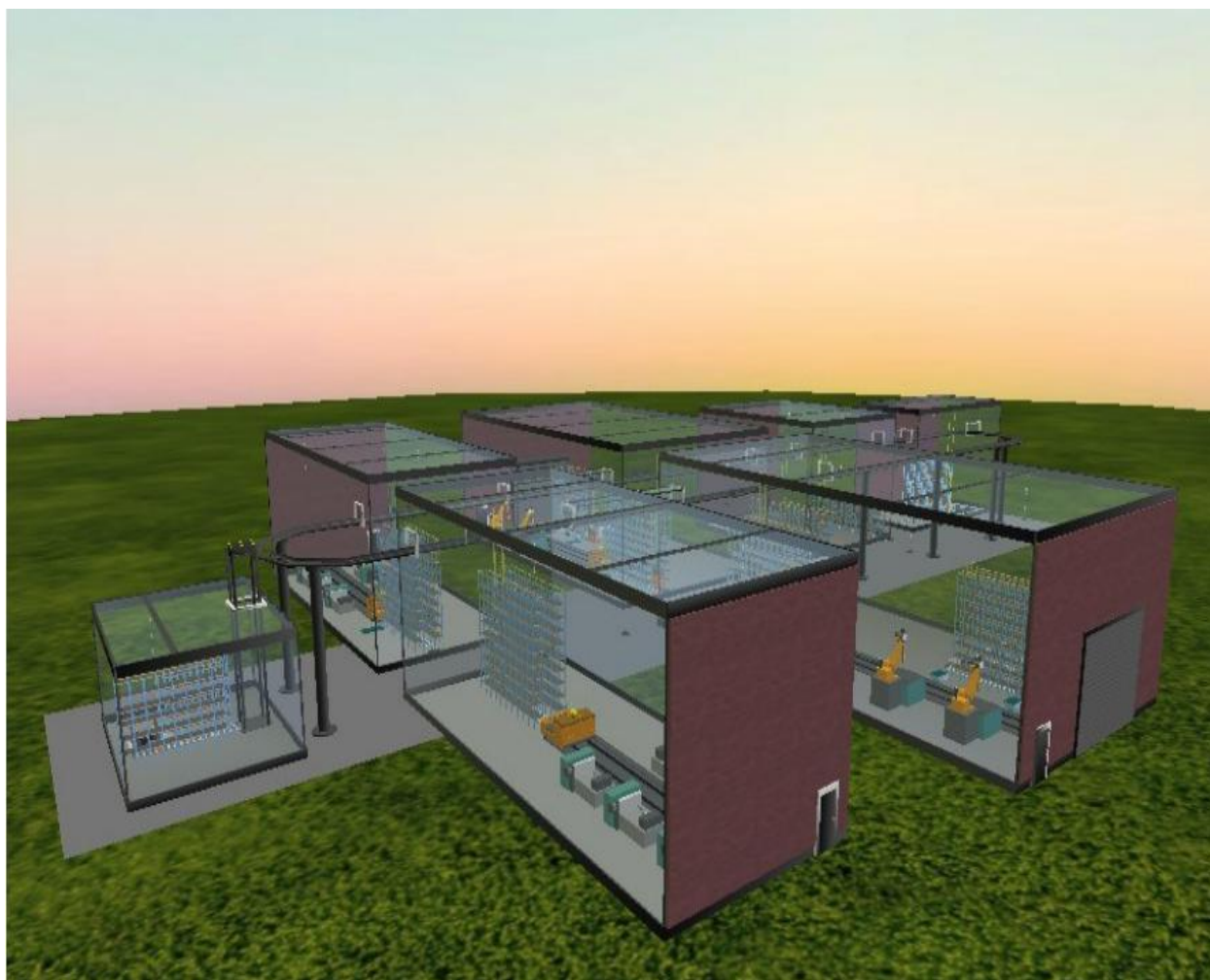


Slika 30. Unos parametara na atomu transporter

Nakon što smo podesili sve parametre na pojedinim atomima, možemo pustiti simulaciju. Tijekom simulacije ispod svakog atoma možemo pratiti promjenu statističkih podataka vezanih uz dotični atom. Na slici 31. prikazana je analiza statističkih podataka na atomu "processor".



Slika 31. Statističko praćenje promjena na atomu "processor" za vrijeme simulacije



Slika 32. 3D prikaz sustava u softveru Flexsim

4.3.5 Enterprise Dynamics 9

Enterprise Dynamics je objektno-orijentirani softverski program za modeliranje, vizualizaciju i kontrolu dinamičkih procesa. Korisnici koriste objekte zvane “atomi” kod izgradnje modela. Enterprise Dynamics temelji se na konceptu atoma kao modelirajućih objekata. [11]

Atom može predstavljati stroj, brojilo, proizvod, ali može biti i nefizikalna veličina poput grafa. Atomi se dijele na osnovne atome (product, source, sink, server i queue), transportne atome (conveyor, transporter), eksperimentalne atome, itd.

Zahvaljujući otvorenoj strukturi Enterprise Dynamics, korisnik može izgraditi nove atome sa vrlo specifičnim karakteristikama. Trenutno Enterprise Dynamics sadrži 100 standardnih atoma, ali ovaj broj raste iz godina u godinu.

Enterprise Dynamics nalazi primjenu u različitim djelatnostima: distribuciji i logistici skladištenja, proizvodnim postrojenjima, automobilske industrije, zračnim i pomorskim lukama, zdravstvenoj zaštiti, obrazovanju, itd.

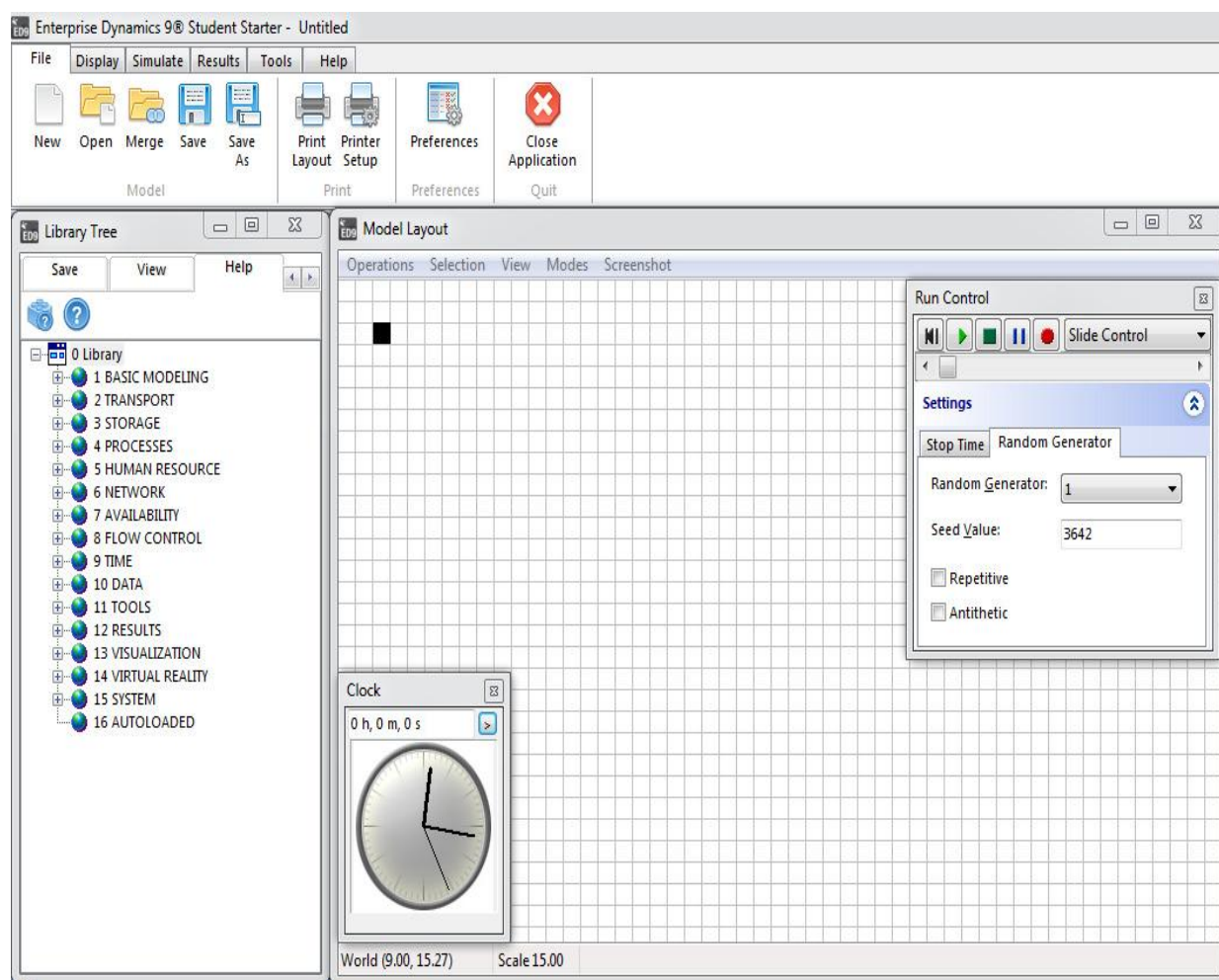
Ovo su neka od poznatijih poduzeća koja koriste simulacijski softver Enterprise Dynamics:

- KHS AG
- Knapp
- Volvo Group
- DMT Gmbh
- Harbor & Shipping – STAA
- Phillips lighting
- TATA Steel
- ESG Elektroniksystem und Logistik – Gmbh
- Vanderlande Industries
- Airport & Airlines – Amsterdam
- Nacco Materials Handling Group [11]

Izgled sučelja Enterprise Dynamics simulacijskog softvera prikazan je na slici 33., a on se ne razlikuje značajno od softvera drugih proizvođača.

Uglavnom, radi se o sličnim ili istim sučeljima s nekim promijenjenim vizualnim detaljima. Kod Enterprise Dynamics imamo prozor za izradu modela (“model layout”), prostor za odabir

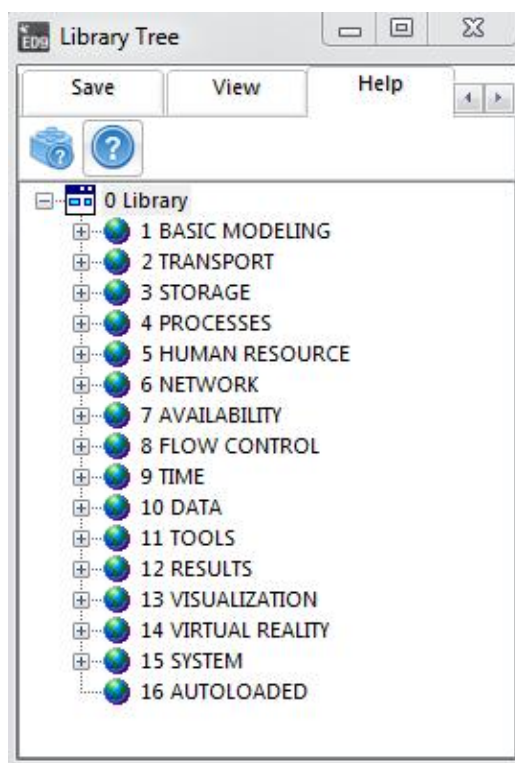
objekata – atoma (“library tree“), kontrolu simulacije (“run control“) i sat za određivanje trajanja simulacije.



Slika 33. Prikaz sučelja Enterprise Dynamics softvera

Struktura menu -a sastoji se od tabova Datoteka, Prikaz, Simulacija, Rezultati, Alati i Pomoć. Klikom na bilo koji od ovih tabova, otvaraju nam se podtabovi sa novim mogućnostima odabira.

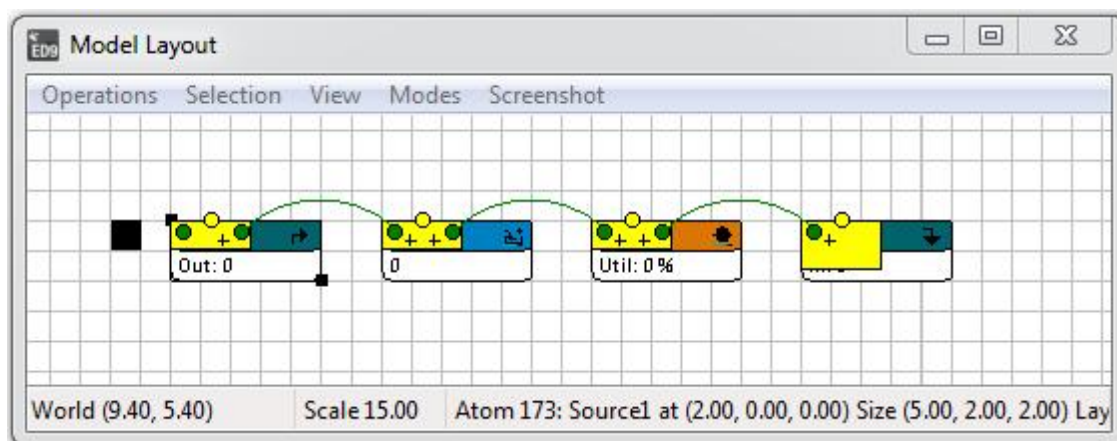
Prozor s atomima “Library tree“, podijeljen je na grupe atoma, tako da jednu grupu atoma čine atomi sa sličnim svojstvima i područjima primjene. Na slici 34. prikazana je podjela atoma po grupama. Najčešće korišteni atomi su source, queue, server, sink i product, te će biti objašnjeni detaljnije u nastavku rada.



Slika 34. Library tree za odabir atoma

Osim “Library tree“ imamo i “Model tree“, a to je prozor u kojem se nalaze svi atomi koji su korišteni u našem modelu. Za osvježavanje prikaza trenutnih atoma u prozoru Model tree koristimo tipku F5.

Atomi se jednostavno unose u model sistemom “drag and drop“. Nakon što unesemo sve potrebne atome u model, slijedi njihovo povezivanje. Povezivanje atoma vrši se pomoću sustava kanala koji se nalaze na svakom atomu, a primjer povezanih atoma dan je na slici 35. Svaki atom ima ulazni i izlazni kanal.

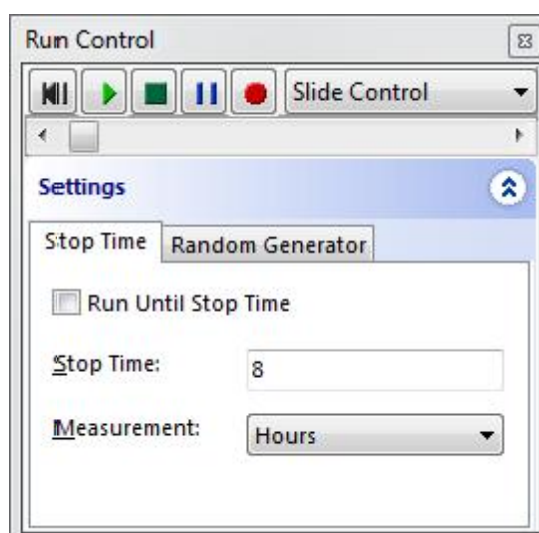


Slika 35. Prikaz povezanih atoma

Broj ulaznih i izlaznih kanala može se povećati jednostavnim klikom na “+” kraj ulaznog ili izlaznog kanala.

Svaki atom u modelu može biti detaljno podešen. Dvostrukim klikom ili desnim klikom na određeni atom, otvara nam se izbornik tog atoma u kojem možemo podesiti određene parametre. Više riječi o tome bit će u sljedećim poglavljima ovog rada.

Simulacija se kontrolira pomoću prozora “Run control” koji je prikazan na slici 36., gdje možemo podešavati brzinu simulacije, vrijeme simulacije, jedinicu vremena, itd. Simulacija se može pratiti u 2D ili 3D prikazu.



Slika 36. "Run control"

Rezultati simulacije mogu biti prikazani na više načina i mogu se mjeriti određene vrijednosti svakog pojedinog atoma korištenog u modelu. Rezultate možemo dobiti u grafičkom ili tabličnom prikazu.

Za praćenje pojedinih atoma u modelu trebamo ubaciti tzv. “Result atoms” koji se povežu sa određenim atomom kojeg želimo pratiti, na način da se ulazni kanal “Result atoma” poveže sa središnjim kanalom atoma koji se želi pratiti. Ukoliko želimo izvještaj cijele simulacije, odabiremo “Summary report” koji se nalazi u tabu Rezultati.

5. Simulacijski model „Primabiro“

Za izradu simulacijskog modela proizvodnog sustava poduzeća Primabiro d.o.o., potrebno je imati dobre ulazne podatke. Simulacijski model je napravljen prema izgledu proizvodnog sustava poduzeća koji je prikazan u prijašnjem dijelu rada na slikama 11.,12.,13. i 14, te na temelju proizvodnog programa poduzeća. Kako bi se proizvodni program prenio iz stvarnosti u model, bilo je potrebno odrediti reprezentativne dijelove, jer prevelik broj dijelova bi rezultirao prekompleksnim modelom. Izborom reprezentativnih dijelova nastoji se pouzdano reprezentirati postojeći proizvodni program i količine.

Proizvodni program poduzeća opisan je u prvom dijelu rada i on uključuje simultanu izradu više proizvoda (sklopova), odnosno postoji više radnih naloga koji se izvršavaju. Kako obujam ulaznih podataka ne smije biti nepotrebno velik, simulacija uključuje jedan radni nalog koji uključuje izradu dva kućišta kotla pojedinačne težine 5.5 tona. Odabirom jednog radnog naloga napravljeno je pojednostavljenje modela, jer pokušaj simulacije svih radnih naloga koji se izvršavaju primjerice u jednom tjednu, iziskuje previše vremena i ogromnu količinu ulaznih podataka.

Izbor dijelova koji ulaze u simulaciju vršio se na temelju njihove važnosti za krajnji proizvod (sklop), a u nastavku rada biti će tablično prikazani dijelovi koji ulaze u simulaciju, njihov broj i broj radnih operacija.

Tabela 1. Reprezentativni dijelovi - podsklop A

PODSKLOP A - KOTAO				
Dio	Količina	Debljina lima	Broj operacija	Redoslijed operacija
A/1	2	8	3	AR-BRU-SKU
A/2	2	8	3	AR-BRU-SKU
A/3	2	8	3	AR-BRU-SKU
A/4	2	8	3	AR-BRU-SKU
A/5/1	4	15	3	AR-BRU-BRR
A/6	2	20	3	AR-BRU-BRR
A/7	8	8	3	AR-BRU-SKU-RAV
A/8/3	8	8	3	AR-BRU-SKU
A/9/2	8	8	3	AR-BRU-SKU
A/11/1	4	25	2	AR-BRU
A/12/1	4	25	2	AR-BRU
A/23	8	8	3	AR-BRU-SKU

Reprezentativni dijelovi podsklopa A dani su u tabeli 1. U tabeli je naznačena količina svakog dijela, debljina lima iz kojeg se izrađuje dio, broj potrebnih operacija kako bi se izradio dio, te redoslijed operacija.

Tabela 2. Reprezentativni dijelovi-podsklop B

PODSKLOP B - POKLOPAC				
Dio	Količina	Debljina lima	Broj operacija	Redoslijed operacija
B/1	2	12	3	AR-BRU-RB
B/3	2	15	2	AR-BRU-RAV
B/5	4	15	2	AR-BRU-RAV
B/7	2	15	2	AR-BRU
B/12/1	8	25	4	AR-BRU-TOK-RB
B/23/1	2	25	4	AR-BRU-TOK-RB
B/23/3	2	3	3	AR-BRU-SAVKRU
B/24/1	8	25	4	AR-BRU-TOK-RB
B/25/1	2	30	4	AR-BRU-TOK-RB
B/26/1	4	25	4	AR-BRU-TOK-RB
B/27/1	4	30	4	AR-BRU-TOK-RB
B/ostalo	60	15	2	AR-BRU

Tabela 3. Reprezentativni dijelovi - podsklop C

PODSKLOP C - KONZERVATOR				
Dio	Količina	Debljina lima	Broj operacija	Redoslijed operacija
C/1/1	2	5	3	AR-BRU-SAVKRU
C/1/2	2	5	3	AR-BRU-SAVKRU
C/2	2	5	3	AR-BRU-RAV
C/3/1	4	12	3	AR-BRU-RB-BRR
C/3/2	4	25	4	AR-BRU-RAV-TOK-RB
C/4/1	4	8	3	AR-BRU-SAVKRU
C/5/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/6/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/7/2	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/8/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/9/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/12/4	4	6	3	SP-BRU-RB-BRR
C/10/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
C/19	4	20	4	AR-BRU-TOK-RB

Treba napomenuti da posljedna operacija svakog dijela je montaža na podsklopu, ovisno kojem podsklopu taj određeni dio pripada. Npr. dio C/1/1 ima redom operacije autogeno rezanje – brušenje – kružno savijanje, a posljedna operacija iako nije navedena u tablici, je montaža koja se odvija na radnom mjestu montaže podsklopa C. Isto vrijedi i za druge dijelove koji pripadaju podsklopu A, B i D.

Tabela 4. Reprezentativni dijelovi - podsklop D

PODSKLOP D - OPREMA				
Dio	Količina	Debljina lima	Broj operacija	Redoslijed operacija
DT/18/1	8	6	3	AR-BRU-RB-BRR
D/5/3	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
D/5/4	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/6/6	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB
D/6/7	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/7/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
D/7/3	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/9/2	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/10/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
D/12/2	2	10	4	AR-BRU-TOK-RB
D/13/2	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/25/1	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/35/2	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/36/2	4	10	4	AR-BRU-TOK-RB-BRR
D/45/2	4	5	4	AR-BRU-GLO-SKU
D/46/2	2	5	4	AR-BRU-GLO-SKU

Kao što se vidi iz tablica, svaki određeni dio obrađuje se po određenom rasporedu radnih operacija. Postoji više strojeva koji vrše istu radnu operaciju, ali postoji razlika s obzirom na veličinu stroja, kapacitet, snagu, te ovisno o veličini i zahtjevu određenog dijela, njegova obrada će se vršiti na potrebnom stroju.

Pojašnjenja kratica radnih operacija:

- AR – autogeno rezanje
- BRU – brušenje
- TOK – tokarenje
- RB – radijalna bušilica
- BRR – bravarski rad
- GLO – glodanje
- SKU – savijanje kutno
- SAVKRU – savijanje kružno
- RAV – ravnanje
- SP – strojna pila

Strojevi i radna mjesta koja će se koristiti u simulaciji dani su u sljedećoj tablici.

Tabela 5. Broj strojeva na radnim mjestima

Radno mjesto	Broj strojeva
Autogeno rezanje/plazma	2
Strojna pila	1
Brušenje	5
Glodanje	1
Tokarenje	3
Savijanje	2
Ravnanje	1
Bravarski rad	1
Montaža podsklop A	1
Montaža podsklop B	1
Montaža podsklop C	1
Montaža podsklop D	1
Završna montaža	1

U prvom dijelu rada opisan je tok materijala kroz poduzeće od početne operacije pa do završne montaže, te se ovdje neće ponovo opisivati, samo je potrebno napomenuti da dijelovi koji pripadaju određenom podsklopu, kasnije se kod montaže zajedno sklapaju.

Pripremno-završna vremena i vremena obrade razlikuju se od stroja do stroja. U simulaciji su za svaki stroj vremena obrade podešena tako da odgovaraju vremenima obrade u stvarnosti. U nastavku rada slijedi tablični prikaz strojeva sa pripadajućim vremenima pripreme i obrade za svaki stroj.

Tabela 6. Vremena pripreme i obrade na strojevima

Stroj	Pripremno vrijeme	Vrijeme obrade
SP	2 min	4 min
BR1-BR4	1 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(180, 20))$ s
BR5	5 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(900, 180))$ s
BRR	3 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(180, 20))$ s
SKU1	20 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(1080, 120))$ s
SKU2	10 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(600, 120))$ s
SAVKRU1	20 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(2100, 120))$ s
SAVKRU2	20 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(900, 120))$ s
RAV	2 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(600, 120))$
RB	10 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(7200, 300))$ s
RB1	3 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(180, 60))$ s
TOK1	5 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(300, 60))$
TOK2	5 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(480, 60))$
TOK3	5 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(3600, 300))$
GLO	5 min	$\text{Max}(0, \text{Normal}(1200, 60))$

$\text{Max}(0, \text{Normal}(x, y))$ znači da će softver, ukoliko ponovimo eksperiment 100 puta, izbacivati vrijednosti oko vrijednosti x sa standardnom devijacijom vrijednosti y , odnosno dobit ćemo 50 vrijednosti ispod i 50 vrijednosti iznad vrijednosti x .

Vremena obrade na radnim mjestima AR1 i AR2 sadržana su u atomu *ArrivalList* što je detaljnije objašnjeno u sljedećem poglavlju ovog rada. U tabeli 7. i 8. dan je tablični prikaz vremena obrade za pojedine proizvode na radnim mjestima AR1 i AR2.

Tabela 7. Vremena obrade na radnom mjestu AR1

AR1			
Proizvod	Vrijeme obrade (min)	Proizvod	Vrijeme obrade (min)
1	12.3	16	20
2	9.8	19	14.5
3	9.8	20	5
4	12.8	22	15
5	9	26	3.5
6	16.3	27	7
7	13.5	28	4
10	7	29	7.5
11	10	30	8
14	14	31	13.2

Tabela 8. Vremena obrade na radnom mjestu AR2

AR2	
Proizvod	Vrijeme obrade (min)
8	18
9	39
12	47
13	24
15	7
17	23
18	8
21	9.5
23	13
24	6

Vremena montaže podsklopova A, B, C i D, te vremena montaže završnog sklopa, dana su u tablicama što slijede u nastavku rada zajedno sa pripadajućom aktivnošću u procesu montaže. Svaki podsklop ima različito trajanje montaže jer se procesi montaže razlikuju.

Tabela 9. Trajanje procesa montaže poklopca

POKLOPAC	
Pjeskarenje	10/30 min
Urtavanje	8 h
Zavarivanje	3-4 h
Ravnanje	5 h
Čišćenje + TIG popravak zavora	6 h
Pjeskarenje	2 h
Lakiranje	24 h
Radovi kod otpreme	4 h

Tabela 10. Trajanje procesa montaže kotla

KOTAO	
Predpjeskarenje limova	1/3 h
Dno	30 min
Stranice – urtavanje + U profili	3-4 h
Zavarivanje	6-8 h
Ravnanje	4 h
Stranice + dno + izrada okvira kotla	1 h
Zavarivanje	3-4 h
Priprema za probnu montažu	2 h

Tabela 11. Trajanje procesa montaže konzervatora

KONZERVATOR	
Spajanje plašteva	30 min
Zavarivanje plašteva	2 h
Sastav pozicija	8 h
Zavarivanje	5 h

Tabela 12. Trajanje procesa montaže opreme

OPREMA	
Ravnanje – U profili	2-3 h
Savijanje kružno	1.5 h
Sastav	4 h
Zavarivanje	2 h
Lakiranje	16 h

Tabela 13. Trajanje procesa probne montaže

Probna montaža	
Sastav podsklopova	6 h
Zavarivanje i čišćenje cjevovoda	4 h
Čišćenje konzervatora i kotla	9 h
Pjeskarenje kotla	6 h
Pjeskarenje konzervatora	3 h
Lakiranje	24 h
Radovi kod otpreme	8 h

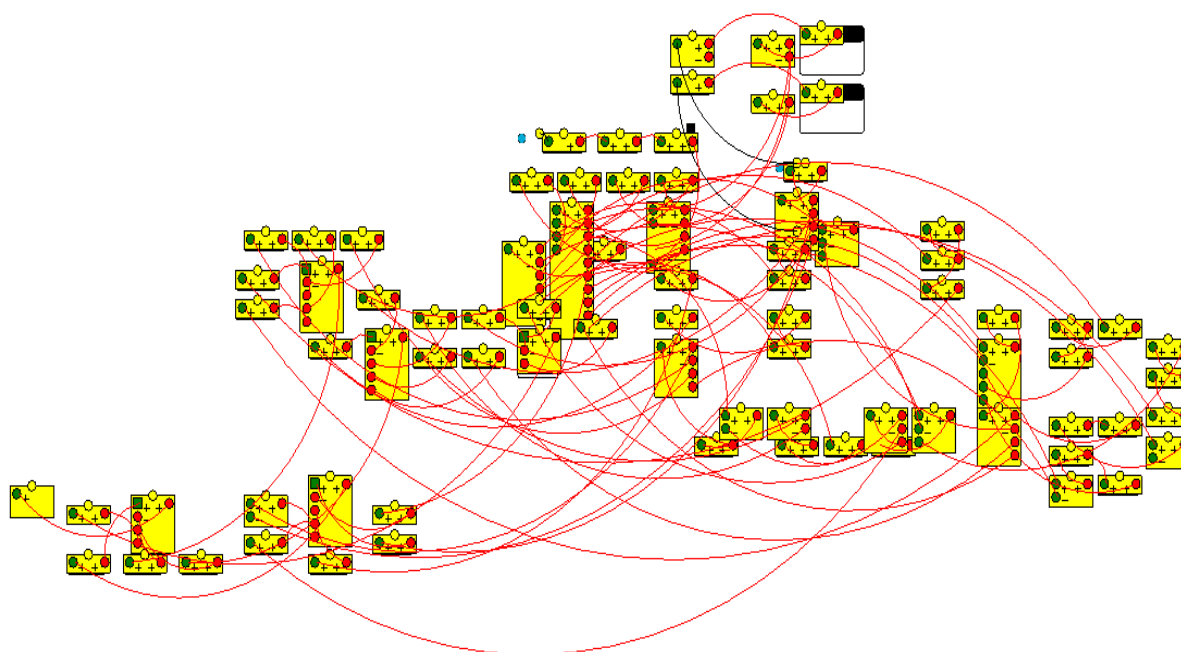
5.1 Pretpostavke i ograničenja modela

U modelu je zanemaren transport, odnosno doprema i otprema materijala od jednog do drugog radnog mjesta. Ovisno o tome koliko će vremena trajati simulacija, tom vremenu će se pridodati očekivano vrijeme transporta materijala.

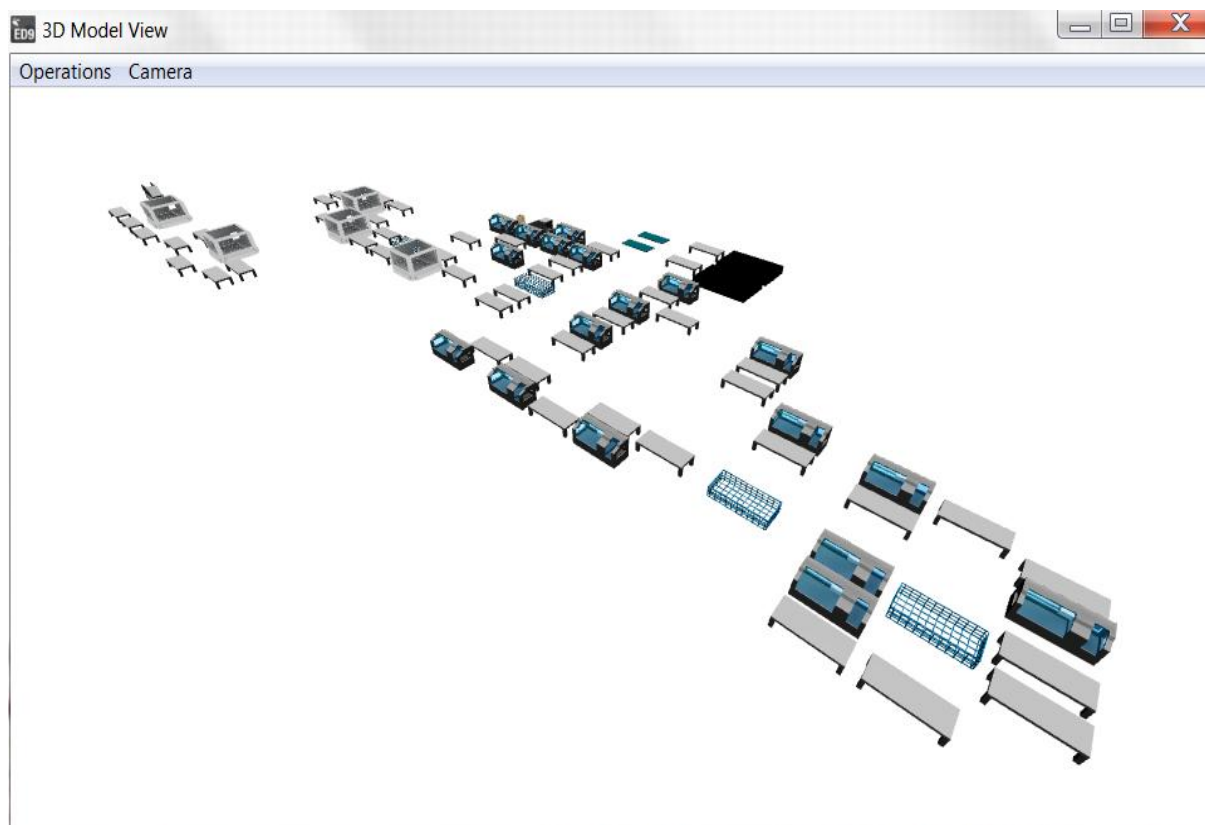
Reprezentativnim dijelovima nastoji se pouzdano reprezentirati postojeći proizvodni program i količine, ali to nije moguće u potpunosti jer reprezentativni dijelovi pripadaju samo jednom radnom nalogu, dok u stvarnosti imamo proizvodni program koji čine više radnih naloga. No ipak, korištenjem reprezentativnih dijelova iz nekog drugog radnog naloga, rezultati simulacije se nebi smjeli u većoj mjeri razlikovati od rezultata koji će se dobiti simulacijom iz ovih reprezentativnih dijelova.

Model se potvrđuje kao dobar ukoliko je vrijeme dobiveno simulacijom, koje je potrebno da se izrade dva kućišta kotla iz reprezentativnih dijelova, otprilike isto očekivanom vremenu izrade tih istih dvaju kućišta kotla u stvarnoj proizvodnji. S obzirom na to da poduzeće u nekom vremenu ne izvršava samo jedan radni nalog nego više njih, očekivano vrijeme izrade tih dvaju kućišta kotla smatra se onim vremenom za koje bi poduzeće napravilo ta dva kućišta kotla iz tog radnog naloga, ne izvršavajući pritom druge radne naloge.

5.2 Dvodimenzionalni i trodimenzionalni prikaz modela “Primabiro“



Slika 37. 2D prikaz simulacijskog modela “Primabiro“



Slika 38. 3D prikaz modela "Primabiro"

Slike 37. i 38. u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom obliku prikazuju model "Primabiro". Raspored strojeva i montažnih mjesta u modelu odgovara i stvarnom rasporedu u samom poduzeću.

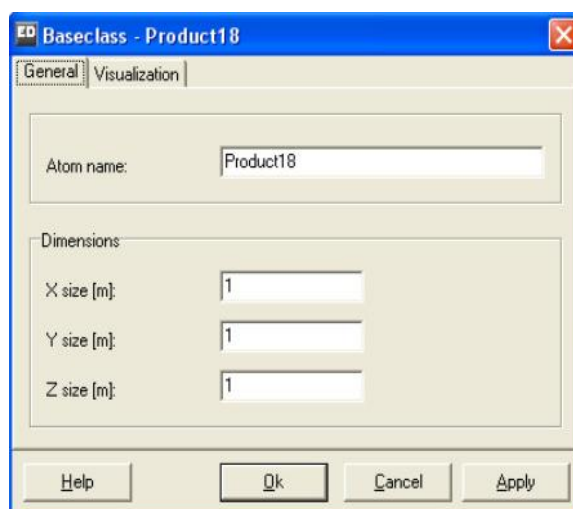
U dvodimenzionalnom prikazu mogu se vidjeti veze između strojeva preko kojih se izvršava rutiranje dijelova po strojevima.

5.3 Objašnjenje korištenih atoma u modelu i njihovih glavnih parametara

Atomi su entiteti u softveru Enterprise Dynamics i koriste se kod izgradnje modela. U daljnjem tekstu navode se sa svojim originalnim nazivima na engleskom jeziku.

Product

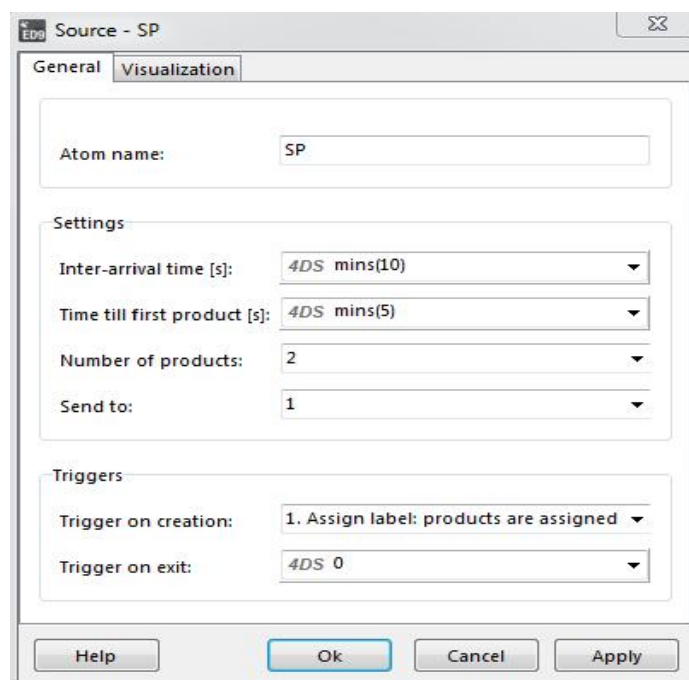
Atom *Product* koristi se kod modeliranja materijalnih tokova. Ti tokovi mogu se sastojati od proizvoda, određenih dobara, dokumenata ili ljudi. Atomu se mogu definirati ime, veličina po x-osi, po y-osi i veličina po z-osi što se tiče osnovnih postavki atoma. Što se tiče vizualizacije atoma, ovdje se može odabrati između 2D i 3D prikaza, te boje atoma.

Slika 39. Postavke atoma *Product*

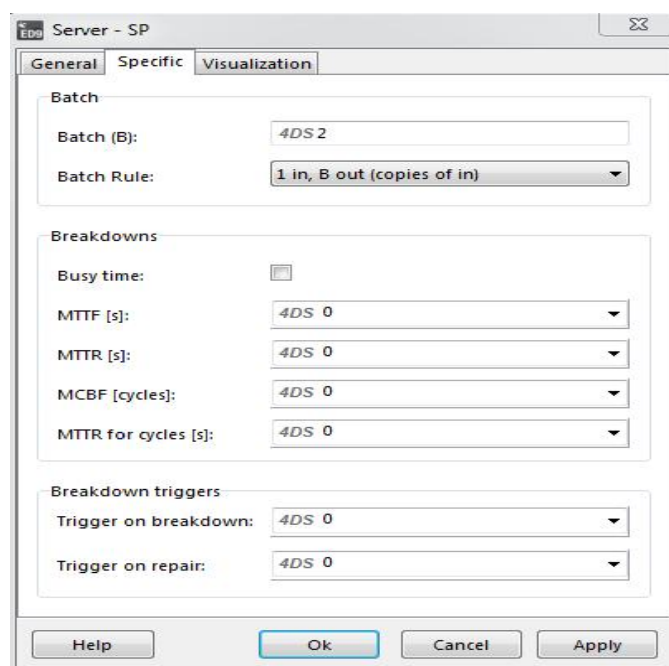
Source

Atom *Source* služi za generiranje proizvoda u proizvodni proces. Odnosno, on omogućava atomima, uglavnom *Product* atomima, da određenom brzinom ulaze u model pa se stoga ovaj atom može smatrati i generatorom. Ovaj atom je često prvi element modela i ima složenije postavke od *Product* atoma. Ovdje se može postaviti dolazno vrijeme prvog proizvoda (time till first product), vrijeme između dolaska dvaju proizvoda (inter-arrival time), broj proizvoda koji mogu proći kroz ovaj atom (number of products), mjesto na koje se dalje šalje proizvod (send to), na koji način atom odgovara na ulaz ili izlaz nekog atoma (triggers), itd. Kako bi dobro postavili postavke atoma, potrebno je dobro poznavati proces koji želimo simulirati.

Na sljedećoj slici vidimo postavke atoma *Source*, odnosno postavke atoma koji simulira rad dolaska dijelova na strojnu pilu. U simulaciji na strojnoj pili reže se dio C/12/4. Iz dva veća L profila režu se četiri L profila duljine 2020 mm. Vrijeme dolaska između dvaju dijelova je deset minuta i ono se podešava u polju "inter-arrival time". S obzirom da je već unaprijed definirano da se vrijeme u softveru Enterprise Dynamics izražava u sekundama, ovdje je upisan kod "mins(10)" koji pretvara vrijednost od 10 minuta u sekunde. Vrijeme dolaska prvog dijela na stroj strojne pile je pet minuta i to se podešava u polju "time till first product". Broj dijelova koji dolaze na radno mjesto strojne pile je određen u polju "number of products". Polje "trigger on creation" predstavlja što će se učiniti kod stvaranja proizvoda. Ovdje je upisana naredba koja daje labelu stvorenom proizvodu "proizvod" s vrijednosti 25. Preko ove labele će se stvoreni proizvod u kasnijem dijelu simulacije slati na određene strojeve, a više o tome bit će riječi u daljnjem tekstu rada.

Slika 40. Postavke atoma *Source* SP

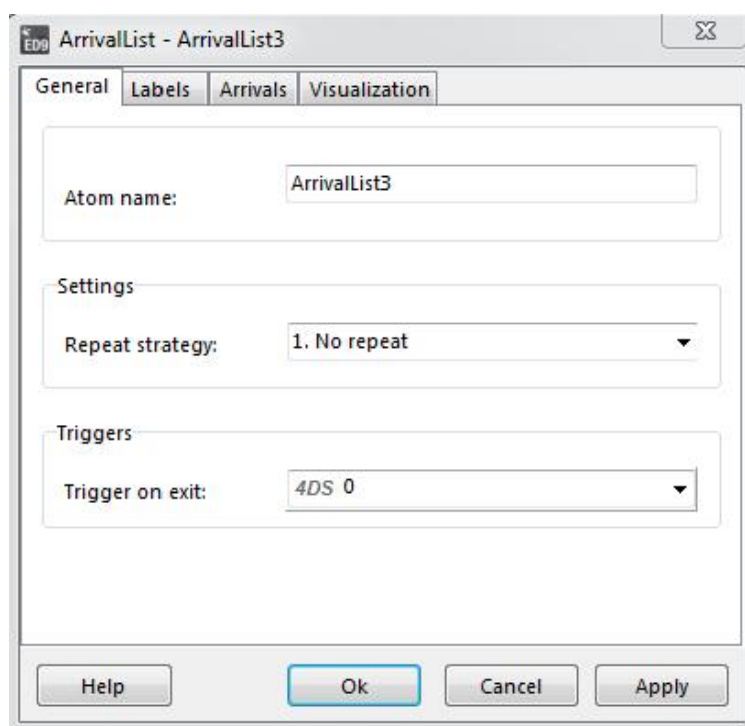
S obzirom na to da ovdje iz jednog dijela rezanjem nastaju druga dva dijela, u atomu *Server* strojna pila potrebno je to podesiti. To se podešava u tabu “specific“, polje “Batch(B)” i “Batch Rule“. Polje Batch Rule nam nudi tri opcije, a mi biramo “1 in B out“, što bi u prijevodu značilo da u stroj ulazi jedan komad a izlazi B komada van iz stroja. Vrijednost B se podešava u polju Batch Rule. Mi trebamo podesiti tako da nam stroj iz jednog komada odreže 2 komada pa u polje Batch (B) upisujemo vrijednost 2.

Slika 41. Postavke atoma *Server* SP

ArrivalList

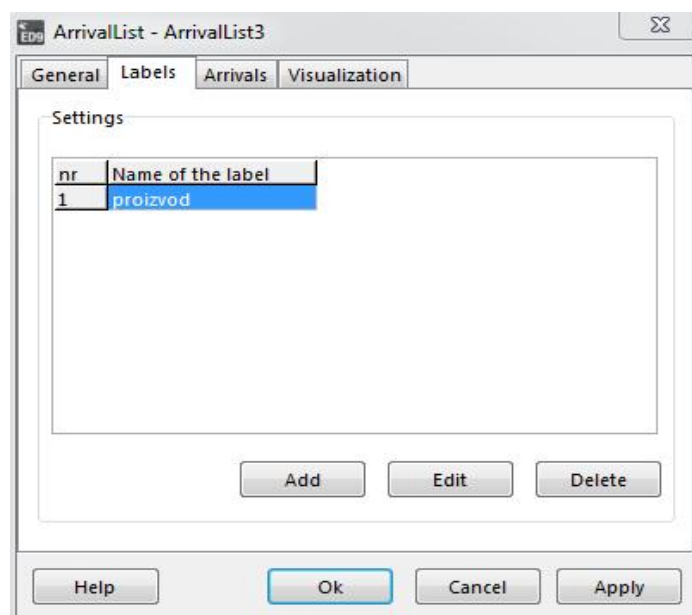
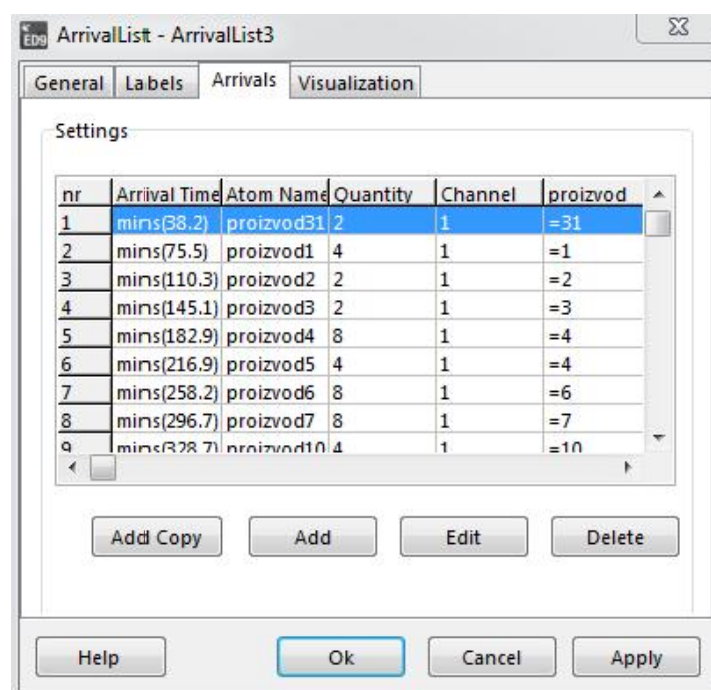
ArrivalList generira atome na osnovi unaprijed definiranog popisa kojeg kreira sam korisnik. Popis se može ponavljati kontinuirano ili s određenim vremenom. Svaki zapis (dolazak) na popisu sadržava vrijeme dolaska, naziv, količinu i broj izlaznog kanala kroz koji dolazi. To bi značilo da u određenom vremenu, kreiran je određen broj atoma kojima je dan određen naziv.

U simulaciji, *ArrivalList* zamjenjuje *Source* atom jer *Source* atom nema mogućnost kreiranja različitih atoma u različitim vremenskim razmacima. Vremenski razmaci u *ArrivalList*-u predstavljaju zapravo vrijeme obrade autogenog rezanja/plazme tih dolaznih dijelova. S obzirom na to da dolaze različiti dijelovi, svaki dio ima različitu vrijednost kako bi se kasnije mogli razlikovati i kako bi se omogućio njihov protok kroz sustav. Svi dijelovi imaju isti naziv odnosno labelu, a to je “proizvod“, ali svaki dio ima različitu vrijednost. Labela se određuje u postavkama pod opcijom “Labels“.



Slika 42. Postavke atoma *ArrivalList*

Vrijednost labele se određuje u opciji “Arrivals“ gdje se ujedno nalazi i popis dolazaka. Svaki dolazak se može uređivati klikom na Edit i tada se otvara novi prozor sa opcijama određivanja vremena dolaska, imena atoma, količine kreiranih atoma, izlaznog kanala kroz koji dolazi atom, te vrijednosti labele.

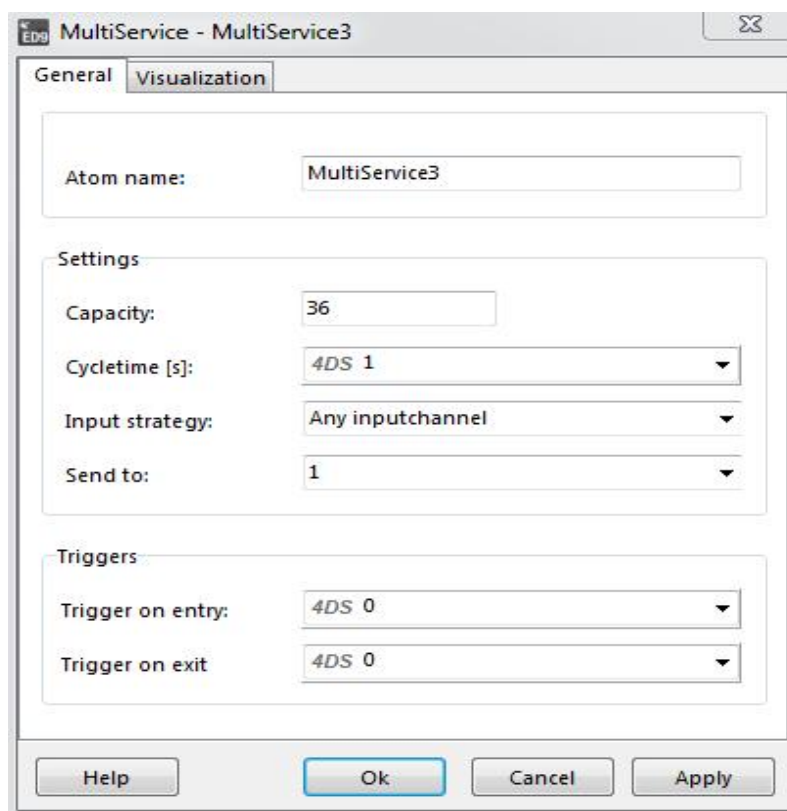
Slika 43. Određivanje naziva labele u atomu *ArrivalList*Slika 44. Popis dolazaka u atomu *ArrivalList*

Kreirani atomi odlaze kroz prvi izlazni kanal na atom *Multiservice* koji predstavlja radno mjesto obrade autogenim rezanjem/plazmom. Razlog zbog kojeg se ovdje koristi atom *Multiservice* umjesto atoma *Server* bit će detaljnije objašnjen u nastavku ovog rada.

MultiService

MultiService je atom koji ima iste osnovne funkcije kao više pojedinačnih *Server* atoma. Za razliku od *Server* atoma koji može “obrađivati” samo jedan po jedan proizvod, atom *MultiService* omogućava simultanu obradu više proizvoda. Maksimalan broj atoma koji se mogu obrađivati može se odrediti u postavkama samog atoma. Svaki atom koji dolazi na atom *MultiService* može imati svoje vrijeme obrade i može doći i izaći iz atoma neovisno o drugim atomima.

U simulaciji imamo dva atoma *Multiservice* koji predstavljaju dva stroja gdje se izvršava radna operacija autogeno rezanje/plazma. Proizvodi dolaze preko prethodno opisanog atoma *ArrivalList* određenim redoslijedom i s određenim vremenskim razmacima. Ovdje treba napomenuti da atom *Multiservice* nema opciju “setup time” odnosno opciju pomoću koje bi podesili vrijeme pripreme stroja, pa je vrijeme pripreme stroja dodano vremenu koje je potrebno da se određeni proizvodi obrade na radnom mjestu autogeno rezanje/plazma. Npr. nekom proizvodu treba 15 min za obradu autogenim rezanjem i tada se tom vremenu pridoda vrijeme pripreme stroja za autogeno rezanje, a to ukupno vrijeme je vrijeme dolaska tog proizvoda na atom *MultiService* definirano u atomu *ArrivalList*.



Slika 45. Postavke atoma *MultiService*

Na slici 45. vidimo osnovne parametre koje možemo podešavati u atomu *MultiService*. “Capacity” predstavlja broj proizvoda koji se mogu simultano obrađivati, a s obzirom da najviše 36 proizvoda dolazi na ovdje na obradu, tada taj broj zapisujemo u polje “Capacity”. U polje “Cycletime” se upisuje vrijeme obrade, a s obzirom da je vrijeme obrade uključeno u vrijeme dolaska koje je definirano s atomom *ArrivalList*, ovdje se upisuje vrijednost od 1 sekunde. To zapravo znači da ovdje atom *MultiService* “glumi” radno mjesto, dok se zapravo kroz taj atom proizvodi od *ArrivalList* šalju dalje na skladište. Ovaj način ulaska proizvoda u model preko *ArrivalList* je ujedno i pojednostavnjenje, ali i jedini ispravan način, jer bi u suprotnom za simulaciju bilo potrebno imati 31 atoma *Source*, što je ujedno i broj različitih proizvoda koji su u simulaciji.

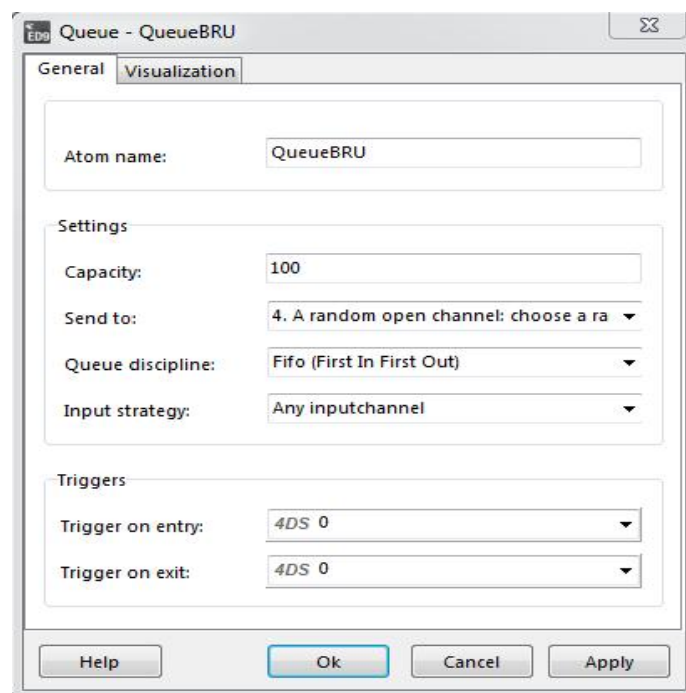
Ovdje nije potrebno određivati labela odlaznim proizvodima jer su labela određene u prijašnjem atomu *ArrivalList* i neće nestati niti se mjenjati ukoliko mi to ne želimo.

Queue

Atom *Queue* je atom na kojem proizvod ili osoba “čeka”, tj. na tom atomu dolazi do zadržavanja dok se ne oslobodi mjesto na sljedećem atomu. Kod ovog atoma mogu se podešavati ovi parametri: ime atoma (atom name), kapacitet (capacity), način ulaska u atom (input strategy), na koji se izlaz šalju proizvodi (send to), te na koji način atom odgovara na ulaz ili izlaz nekog atoma (trigger on), itd.

U simulaciji atom *Queue* predstavlja međuskladište proizvoda. Na sljedećoj slici dan je prikaz postavka atoma *Queue* kod obrade brušenjem manjih dijelova. Kapacitet međuskladišta je postavljen na 100 proizvoda što znači da međuskladište može prihvatiti najviše 100 proizvoda. “Send to” predstavlja način na koji izlaz se šalju proizvodi i postavke ovog parametra su različite za različita međuskladišta. U ovom slučaju definiran je parametar prema kojem se proizvodi koji su u međuskladištu, dalje šalju nasumično na prvi otvoreni kanal, odnosno na prvo otvoreno radno mjesto jer postoji više radnih mjestana koja proizvodi mogu ići na daljnu obradu, te nema nikakvih ograničenja. “Queue discipline” predstavlja način na koji se proizvodi šalju dalje sa međuskladišta s obzirom na njihovo vrijeme dolaska na međuskladište. U svim *Queue* atomima u simulaciji ovaj parametar je podešen tako da proizvod koji je prvi došao na međuskladište, prvi i izlazi iz njega (FIFO – first in first out). Input strategy predstavlja način na koji proizvodi ulaze u atom, a to je kao i na svim ostalim

atomima korištenim u simulaciji postavljeno na “Any input channel“ što znači da proizvodi mogu dolaziti u atom preko bilo kojeg ulaznog kanala.



Slika 46. Postavke atoma *Queue* za operaciju brušenja manjih dijelova

U nekim *Queue* atomima u polju “Send to“ upisujemo samo broj 1 jer svi proizvodi koji dolaze na međuskladište imaju sljedeću obradu na istom radnom mjestu, pa svi odlaze kroz prvi izlazni kanal.

Ukoliko na međuskladište dolaze proizvodi koji imaju različitu sljedeću obradu, u polje “Send to“ upisujemo kod pomoću kojeg atom čita vrijednost labele proizvoda i na osnovu toga šalje proizvod kroz određeni izlazni kanal na sljedeće mjesto obrade.

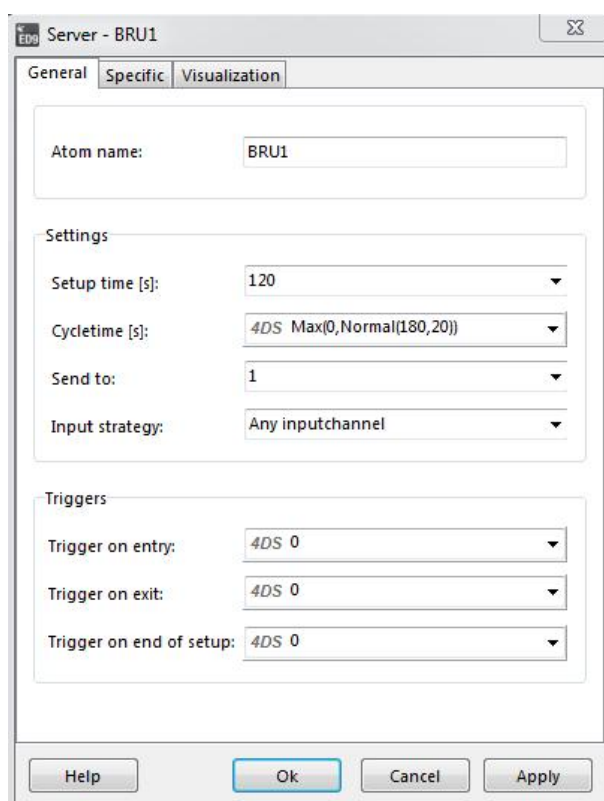


Slika 47. 4DS kod upisan u "Send to" polje atoma *Queue*

Na slici 46. vidimo kod koji je upisan u polje “Send to” atoma *Queue* koji predstavlja odlazno skladište radnog mjesta gdje se obavlja kružno savijanje. Na to skladište dolaze dijelovi koji su kružno savijeni i spremni za odlazak na sljedeće radno mjesto. Proizvodi se dalje šalju ili na montažu gdje se odvija sklapanje podsklopa B, ili na montažu gdje se obavlja sklapanje podsklopa C. Kako je u prijašnjem dijelu objašnjeno da svi proizvodi imaju labelu “proizvod” i svaki različiti proizvod ima svoju vrijednost labele, tako i proizvodi koji se pojavljuju ovdje imaju svoju vrijednost labele (u ovom slučaju su to vrijednosti 15 i 21) koje atom prepoznaje i ovisno o vrijednosti labele šalje ih na prvi ili drugi izlazni kanal.

Server

Atom *Server* koristi se za modeliranje radnih operacija koje iziskuju određeno vrijeme, kao što je na primjer obrada materijala na određenom stroju. Ovaj atom može predstavljati stroj, brojilo ili bilo što, što predstavlja mjesto obrade ili uređaj koji nešto obrađuje. Parametri atoma su: ime atoma (atom name), vrijeme pripreme (setup time), vrijeme procesa (cycletime), izlaz na koji se šalju proizvodi (send to), način ulaska u atom (input strategy), na koji način atom odgovara na ulaz nekog atoma (trigger on entry).

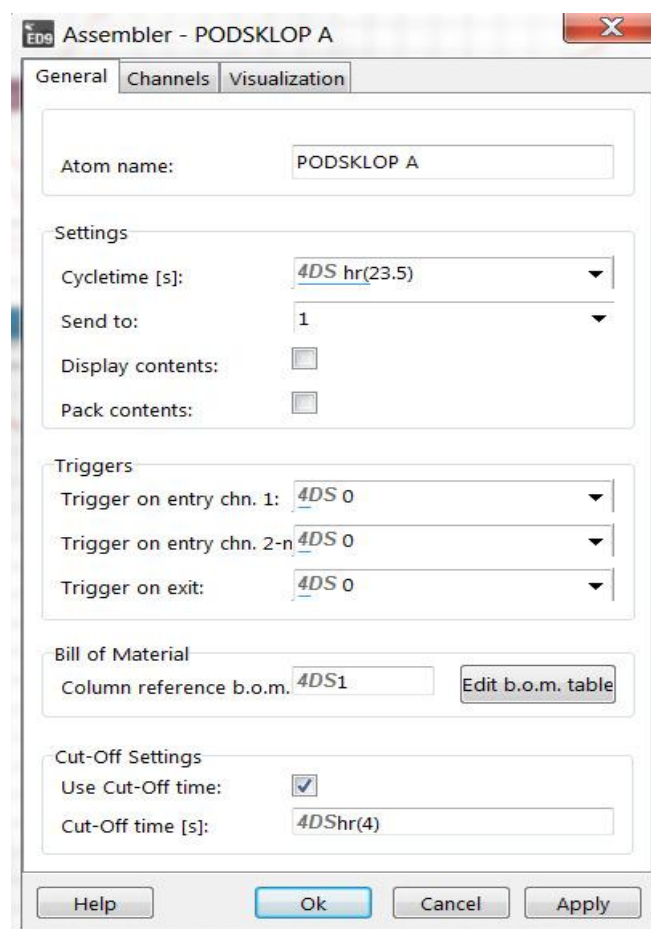


Slika 48. Postavke servera BRU1

Na slici 47. vidimo postavke atoma *Server* na radnom mjestu gdje se bruse manji dijelovi. Vrijeme pripreme stroja (setup time) je podešeno na 3 minute odnosno 120 sekundi. Što se tiče vremena obrade, ono je određeno normalnom raspodjelom sa prosječnom vrijednošću od 180 sekundi i standardnom devijacijom od 20 sekundi. To znači ako bi neki proces pokrenuli 100 puta, dobili bi 100 vrijednosti oko 180 sekundi, sa 50 vrijednosti ispod, a 50 vrijednosti iznad 180 sekundi. Atom dalje šalje proizvode kroz prvi izlazni kanal na međuskladište.

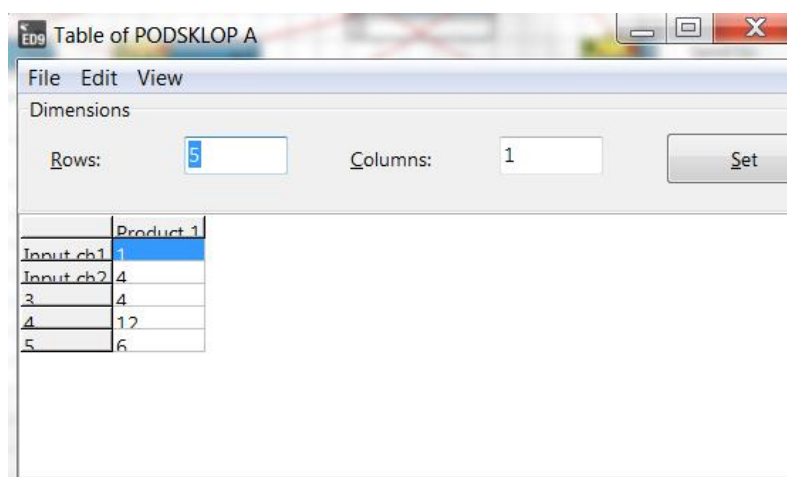
Assembler

Atom *Assembler* spaja više atoma u jedan atom (sklop). Može simulirati montažu više proizvoda u jedan sklop, operacije pakiranja, više različitih operacija, itd. Atom koji ulazi na prvi ulazni kanal *Assembler*-a obično predstavlja kontejner, paletu, paket ili osnovni dio. U slučaju ove simulacije predstavlja osnovni dio. Atomi koji ulaze kroz druge ulazne kanale predstavljaju poddijelove sklopa. Ti poddijelovi mogu biti uništeni ili premješteni unutar atoma koji je ušao kroz prvi ulazni kanal. To se podešava u polju "Pack contents", ako je ovo polje označeno tada poddijelovi ostaju, a ako nije, poddijelovi se unište. Ovdje se vrijeme obrade odnosi na obradu (montažu) svih dijelova, a ne svakog dijela posebno. Kako bi se smanjila kompleksnost i pojednostavio model, operacije lakiranja i pjeskarenja su pridodane vremenu montaže podsklopa, iako se te operacije rade na drugom radnom mjestu. Vremena montaže svakog pojedinog podsklopa dane su u tablicima u nastavku rada. Broj dijelova koji je potreban za montažu jednog sklopa određuje se u tablici koja se otvara klikom na polje "Edit b.o.m. table". Jedna kolona tablice odnosi se na jednu montažu, dok red tablice odgovara broju ulaznog kanala. Za svaki kanal moguć je unos potrebnog broja atoma koji mora doći u *Assembler* kako bi se montaža mogla obaviti. Montaža ne može započeti prije nego svi potrebni atomi (proizvodi) ne stignu do *Assembler*-a, ali to se može promijeniti upotrebom "Cut-off time". U slučaju da je uključen "Cut-off time", *Assembler* čeka na dolazak sljedećeg proizvoda potrebnog za montažu toliko vremena koliko je određeno u polju "Cut-off time", a nakon isteka tog vremena *Assembler* započinje montažu sa proizvodima koji su već stigli.

Slika 49. Postavke atoma *Assembler*

Na slici 48. vidimo postavke atoma *Assembler* podsklopa A. U polje “Cycletime“ upisano je vrijeme potrebno za montažu podsklopa A. Vrijeme obrade uključuje i vrijeme potrebno za pjeskarenje i lakiranje tog podsklopa, pa je to još jedno pojednostavljenje kako bi se smanjila kompleksnost modela.

Ovdje treba napomenuti da je uključena opcija “Use Cut-off time“ i upisana je vrijednost od 4 sata, što u prijevodu znači da atom čeka 4 sata, a nakon toga započinje montažu sa već pristiglim dijelovima iako svi dijelovi potrebni kod montaže podsklopa A nisu stigli. Takav je slučaj i u stvarnosti jer montaža podsklopa A ne započinje tek dolaskom svih dijelova koji su potrebni za cjelokupnu montažu podsklopa A, već se montira segment po segment, tako da prisutnost apsolutno svih dijelova na početku montaže nije toliko bitna.



	Product 1
Input ch1	1
Input ch2	4
3	4
4	12
5	6

Slika 50. Tablica potrebnih dijelova kod atoma *Assembler*

Na slici 49. prikazana je tablica potrebnih dijelova kod atoma *Assembler* gdje se montira podsklop A. Broj kolona predstavlja broj različitih montaža, dok redovi predstavljaju ulazne kanale atoma *Assembler*, a broj pored ulaznog kanala odgovara broju potrebnih atoma kod montaže.

U simulaciji imamo 5 *Assembler* atoma koji predstavljaju montažu podsklopa A, B, C i D, i završnu montažu.

6. Analiza dobivenih rezultata simulacije i moguća unapređenja

Nakon završetka izgradnje modela, potrebno je provjeriti rad istog kroz simulaciju.

Prva simulacija će se provesti na trenutnom modelu proizvodnog sustava, a vremenski će trajati do trenutka kad su oba kućišta kotla u potpunosti izrađena. U prvoj simulaciji postavka ponavljanja ulaza dijelova u model preko kreiranog popisa u atomu *Arrival* bit će podešena na “No repeat“

U drugoj simulaciji postavka ponavljanja ulaza dijelova u model bit će podešena na “Continues repeat“. Kako nam je poznato da će u ovoj situaciji biti kontinuiran ulaz dijelova u model, napraviti će se i treća simulacija u kojoj će se provjeriti produktivnost sustava dodavanjem novih radnih mjesta.

6.1 Analiza dobivenih rezultata simulacije

Nakon pokretanja prve simulacije dobiveno je da je vrijeme potrebno od početka izrade dijelova pa do završetka montaže dvaju kotlova, otprilike 191 sat. Dobiveno vrijeme se nakon višestrukih ponavljanja simulacija kreće oko te vrijednosti, razlike su u minutama. Toj vrijednosti bi trebalo pridodati vrijeme koje bi bilo potrošeno na transport, utovar i istovar dijelova koji nisu uključeni u simulaciju radi pojednostavljenja modela, pa bi se vrijednost dobivenih rezultata kretala oko 210 sati, što je otprilike 8.5 dana. Poduzeću je trebalo više dana da izvrši ovaj radni nalog, ali razlog tome leži u činjenici da poduzeće izvršava više radnih naloga istovremeno, dok je ovo idealna situacija u kojoj se izvršava samo jedan radni nalog. Ukoliko bi se u poduzeću izvršavao isti radni nalog sam za sebe, kao što je u ovoj situaciji, vrijeme izrade gotovog proizvoda bi bilo otprilike isto pa se stoga može reći da je model dobar.

Ovdje je potrebno napomenuti da u ovoj simulaciji u model ulaze samo dijelovi koji su potrebni za izradu dva kućišta kotla, a nakon što se ti dijelovi izrade i krene montaža istih, novi dijelovi za izradu drugih kućišta kotla ne ulaze u model, jer je u postavkama atoma *ArrivalList* strategija ulaska dijelova u model postavljena na “No repeat“. U prijevodu, dolazak dijelova u model prema kreiranom popisu se ne ponavlja.

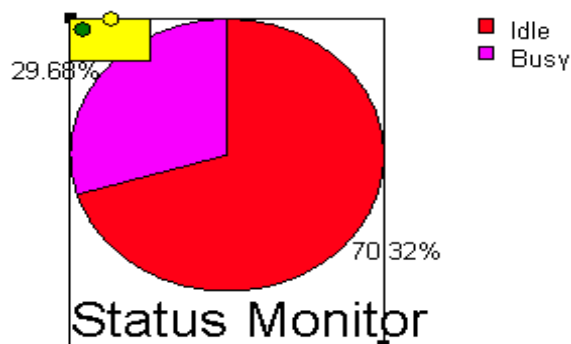
Iz tog razloga u ovom slučaju korisnost strojeva je vrlo mala, s obzirom na to da vrijeme koje dijelovi provedu u obradi na strojevima je značajno malo nasuprot vremenima montaže podsklopova i završne montaže sklopa.

Rezultati prve simulacije prezentirani su ukupnim izvješćem (Summary report).

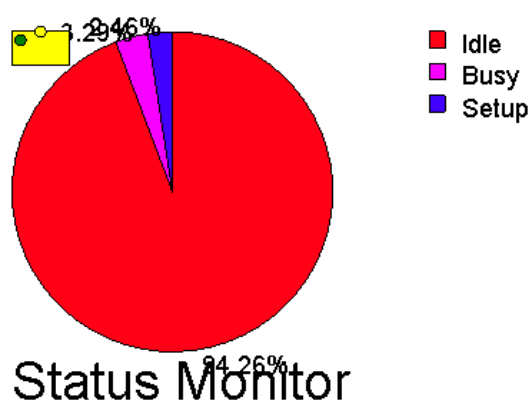
Summary1.rtf					
summary report					
name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	
BRU1	0	0.016	44	44	245.285
BRU2	0	0.016	46	46	240.814
BRU3	0	0.016	46	46	236.328
BRU4	0	0.015	44	44	243.560
BRU5	0	0.091	52	52	1208.025
BRU5	0	1.322	52	52	17610.717
BRU5IZ	0	0.000	52	52	0.000
BRU	0	0.176	180	180	677.440
BRUIZ	0	0.000	180	180	0.000
BRR	0	0.026	50	50	358.113
BRR	0	0.003	50	50	39.910
BRRIZ	0	0.000	50	50	0.000
SKU1	0	0.026	8	8	2246.850
SKU1	0	0.041	8	8	3567.552
SKU1IZ	0	0.000	8	8	0.000
SAVKRU1	0	0.010	2	2	3359.454
SAVKRU1	0	0.003	2	2	1171.532
SAVKRU1IZ	0	0.000	2	2	0.000
SAVKRU2	0	0.019	6	6	2209.239
SAVKRU2	0	0.023	6	6	2654.943
SKU2	0	0.066	38	38	1195.237
SKU2	0	0.107	38	38	1958.934
RAV	0	0.027	26	26	706.937
RAV	0	0.037	26	26	986.615
RAVIZ	0	0.000	26	26	0.000
SAVKRU2IZ	0	0.000	6	6	0.000
SKU2IZ	0	0.000	38	38	0.000
RB	0	0.044	4	4	7702.515
RB	0	0.057	4	4	9815.012
RBIZ	0	0.000	4	4	0.000
RB1	0	0.058	94	94	425.779
RB1	0	0.615	94	94	4527.560
RB1IZ	0	0.000	94	94	0.000
TOK2	0	0.025	22	22	792.209
TOK2	0	0.242	22	22	7626.334
TOK2IZ	0	0.000	22	22	0.000
TOK3	0	0.036	6	6	4160.468
TOK3	0	0.035	6	6	4082.503
TOK3IZ	0	0.000	6	6	0.000

Slika 51. Izvješće za prvu simulaciju

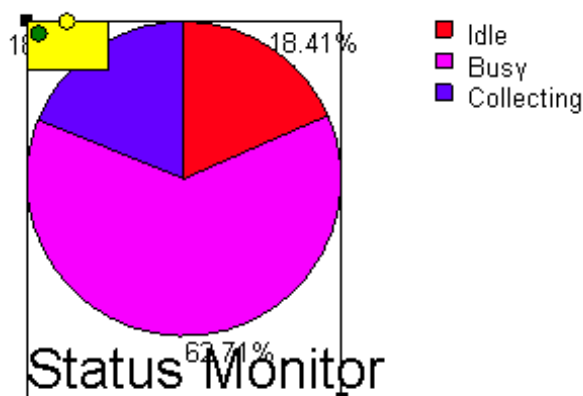
Kao što je vidljivo na slici 51., iz izvješća možemo dobiti informacije vezane uz količinu proizvoda na pojedinim atomima (trenutna i prosječna), protok koji se ostvaruje na ulazu u atom te na izlazu iz atoma, te možemo isčitati prosječno vrijeme zadržavanja proizvoda na atomu.



Slika 52. Iskoristivost na radnom mjestu montaže poklopca



Slika 53. Iskoristivost na radnom mjestu RB1



Slika 54. Iskoristivost kod završne montaže

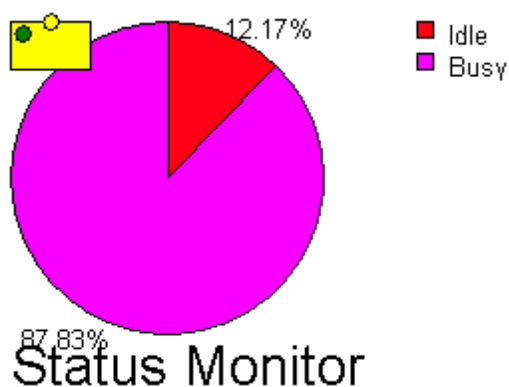
Slike 52., 53. i 54. prikazuju iskoristivosti na radnim mjestima montaže podsklopa B odnosno poklopca, na radnom mjestu bušenja manjih pozicija i iskoristivost kod završne montaže u prvoj simulaciji. Vrijednosti su prema očekivanjima vrlo male, s obzirom na prije opisanu situaciju gdje u model dijelovi prema kreiranom popisu ne ulaze kontinuirano već samo jednom.

U drugoj simulaciji u atomu *ArrivalList* strategija ulaska dijelova u model se promijenila na “Continues repeat“, pa dijelovi kontinuirano ulaze u model prema kreiranom popisu nakon što su svi dijelovi iz prijašnjeg popisa ušli u model. Ovaj slučaj predstavlja način na koji dijelovi ulaze u izradu u poduzeću, samo što je razlika u tome, što u ovom slučaju u model ulaze isti dijelovi za izradu istog gotovog proizvoda (sklopa). U poduzeću u izradu kontinuirano ulaze dijelovi za različite radne naloge, a simulacija takve situacije je prekomplikirana pa je stoga na prijašnje opisan način napravljen način ulaska dijelova u model. Ovdje se očekuju veće iskoristivosti strojeva s obzirom na kontinuiran ulazak dijelova u model.

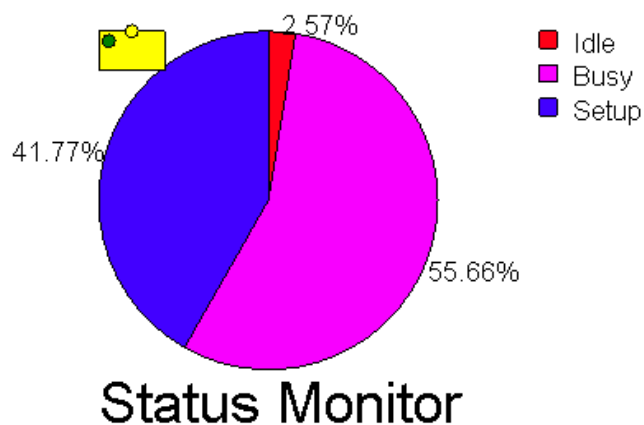
Summary1.rtf					
TOK2IZ	0	0.097	374	374	184.160
TOK3	1	0.657	120	119	3881.045
TOK3	0	0.942	120	120	5560.294
TOK3IZ	2	0.100	119	117	511.444
GLO	0	0.216	102	102	1499.910
GLO	0	0.527	102	102	3658.547
GLOIZ	0	0.000	102	102	0.000
TOK1	1	0.872	1030	1029	600.138
TOK1	18	13.695	1048	1030	9180.785
TOK1IZ	0	0.018	1029	1029	12.099
D3	0	0.000	0	0	0.000
D1	90	43.722	98	8	312731.889
D2	441	214.045	568	127	302101.559
PODSKLOP D	19	15.600	135	7	1551258.396
PODSLOP A	0	20.303	632	24	599384.827
A2	120	64.421	216	96	231993.409
A1	0	1.479	24	24	43669.878
A3	4	6.006	96	92	44768.401
A4	18	15.705	294	276	39323.433
A5	48	25.394	192	144	99551.581
PODSKLOP B	48	42.231	672	13	2265009.231
B4	760	469.494	1152	392	397957.961
B2	38	22.434	52	14	422166.858
B3	157	91.077	213	56	426784.117
B1	30	16.338	44	14	349346.838
B5	300	190.142	496	196	365725.557
PODSKLOP C	0	9.635	410	22	310314.972
C2	4	10.909	84	80	95202.042
C1	0	0.215	22	22	6918.986
C4	12	6.111	34	22	131998.282
C5	253	124.932	495	242	182156.685
C3	60	30.250	104	44	214166.248
MONTAZA	4	2.984	12	2	1054544.510
4	4	1.776	7	3	218589.295
1	21	9.056	24	3	267686.449
2	10	1.896	13	3	147840.000
3	19	8.727	22	3	291007.454
MultiService3	0	0.004	2708	2708	1.000
MultiService4	0	0.003	1860	1860	1.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
ArrivalList3	0	0.000	2708	2708	0.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
ArrivalList4	0	0.000	1860	1860	0.000
SP	0	0.000	10	10	0.000

Slika 55. Izvješće za drugu simulaciju

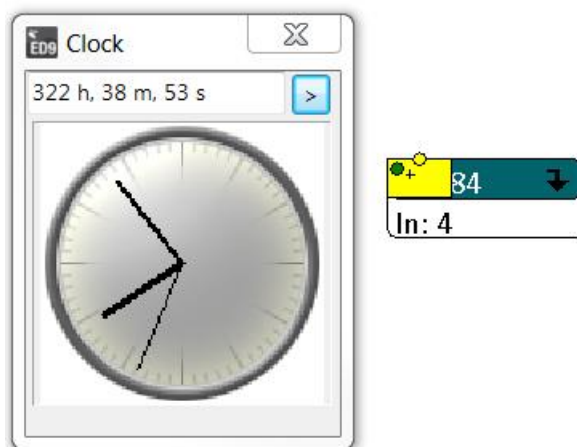
Iz izvješća sa slike 55., vidi se povećanje količine dijelova koji su došli i otišli sa radnih mjesta, a to je posljedica kontinuiranog ulaska dijelova u model.



Slika 56. Iskoristivost na radnom mjestu montaže poklopca



Slika 57. Iskoristivost na radnom mjestu RB1



Slika 58. Trajanje druge simulacije do izrade 4 proizvoda

Na slikama 56. i 57. vidimo iskoristivost na radnim mjestima montaže poklopca i radijalne bušilice kad dijelovi kontinuirano ulaze u model. Iskoristivost je prema očekivanjima

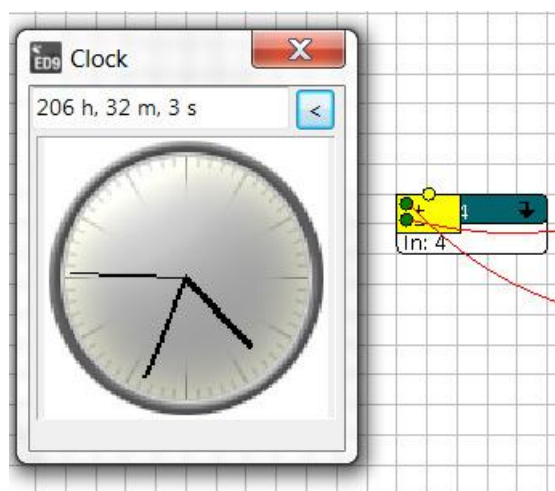
značajno veća u odnosu na situaciju kod prve simulacije gdje dijelovi ne ulaze kontinuirano u model. Slika 58. prikazuje trajanje druge simulacije do izrade 4 gotovih proizvoda.

Kod simulacije sa kontinuiranim ulazom dijelova u model, usporednim praćenjem iskoristivosti određenih radnih mjesta na koja dijelovi prema tehnološkom procesu izrade dijelova češće dolaze, vidi se povećanje iskoristivosti protekom vremena.

Na tim mjestima nastaju uska grla, a to se vidi protekom vremena u simulaciji gdje se međuskladišta počinju previše puniti nadolazećim dijelovima. Takva situacija ne čudi pogotovo za radno mjesto gdje se obavlja brušenje, jer svi dijelovi nakon prve operacije obrade idu dalje na obradu brušenjem pa dolazi do uskog grla. Takva situacija se može riješiti pojačanim, odnosno prekovremenim radom na tom radnom mjestu.

Što se tiče uskih grla na mjestima montaže, ona nastaju jer stalno pristižu novi dijelovi kojima treba puno manje vremena za izradu od vremena montaže podsklopova i sklopova.

Taj problem uskog grla na montažnim mjestima probat će se riješiti uvođenjem novih montažnih mjesta za montažu podsklopova i sklopova. Napravljena je situacija i u tom slučaju, a ona pokazuje da nova montažna mjesta rezultiraju većim brojem izrađenih sklopova, a uska grla su smanjena.



Slika 59. Prikaz broja gotovih sklopova kroz vrijeme u trećoj simulaciji

Na slici 59. vidimo sliku koja prikazuje da je broj gotovih proizvoda nakon 206 sati, 4 komada. Ovo je situacija kod koje je simulacija urađena sa dvostrukim brojem radnih mjesta za montažu podsklopova i sklopova. Prema simulaciji u kojoj ulazak dijelova nije

kontinuiran, a radna mjesta montaže podsklopova i sklopa nisu dvostruka, ovdje je broj gotovih proizvoda u malo više proteklog vremena trajanja simulacije, dvostruko veći.

Summary1.rtf					
D2	286	138.914	468	182	247367.706
PODSKLOP D	19	15.615	135	7	1552463.913
PODSLOP A	0	17.610	580	74	179728.103
A2	128	68.486	232	104	249232.059
A1	0	0.784	26	26	22771.608
A3	0	5.524	100	100	41717.906
A4	9	19.829	305	296	50195.137
A5	48	32.617	192	144	138466.680
PODSKLOP B	48	40.323	672	13	2265009.231
B4	704	458.148	1208	504	368025.729
B2	38	22.421	56	18	399957.225
B3	152	91.066	224	72	404676.311
B1	28	14.653	46	18	301071.700
B5	154	121.730	406	252	276491.662
PODSKLOP C	0	10.513	380	38	208941.263
C2	0	21.698	92	92	178125.321
C1	0	0.126	24	24	3953.400
C4	12	7.156	36	24	162157.433
C5	142	79.291	406	264	158601.572
C3	64	33.504	112	48	251307.738
MONTAZA	4	3.002	12	2	1109048.165
4	4	1.928	7	3	233065.373
1	71	15.904	74	3	273238.710
2	10	1.926	13	3	147840.000
3	35	7.125	38	3	289474.584
MultiService3	0	0.004	2886	2886	1.000
MultiService4	0	0.003	1972	1972	1.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
ArrivalList3	0	0.000	2886	2886	0.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
ArrivalList4	0	0.000	1972	1972	0.000
SP	0	0.000	20	20	0.000
SP	0	0.019	40	40	360.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
AR1	0	0.000	2886	2886	0.000
AR2	0	0.000	1972	1972	0.000
Sink84	0	0.000	4	0	0.000
SP	0	0.000	40	40	0.000
Copy of PODSKLO 48	26.670		192	3	6388800.000
Copy of PODSKLO 15	4.079		72	3	952584.933
Copy of MONTAZA 4	3.050		12	2	1111250.475
Copy of PODSLOP 27	8.373		90	3	2009596.312
Copy of PODSKLO 19	6.013		59	3	1384947.141
StatusMonitor91	0	0.000	0	0	0.000

Slika 60. Izvješće za treću simulaciju

6.2 Mogućnosti unapređenja

Mogućnosti unapređenja sustava na temelju ovih simulacija su u vidu smanjenja uskih grla koja se pojavljuju na prije spomenutim radnim mjestima brušenja, tokarenja, bušenja i montaže. Rješenje za uska grla su ili uvođenje prekovremenog rada ili dodavanje novog radnog mjesta, kao što smo vidjeli u slučaju simulacije s dodavanjem novih montažnih mjesta.

Ovdje treba istaknuti da rezultati simulacije donekle ovise i o izboru reprezentativnih dijelova, ali se i izborom drugih reprezentativnih dijelova nekog drugog proizvoda, rezultati simulacije nebi smjeli značajnije promijeniti, pogotovo ne u vidu uskih grla koja su ustanovljena u ovom primjeru.

7. Zaključak

Simulacije u današnje vrijeme nalaze primjenu u raznim sferama ljudskog djelovanja, a jedan od razloga je i jednostavnost primjene i za korisnika početnika. Važnost simulacija prepoznaju brojna poduzeća koja ih počinju koristiti kao pomoć kod analize, optimizacije, vizualizacije ili projektiranja novih proizvodnih sustava.

U ovom diplomskom radu na temelju proizvodnog sustava i proizvodnih procesa poduzeća, te ulaznih podataka, napravljen je simulacijski model. Za potrebe simulacije korišten je programski paket Enterprise Dynamics 9, te njegov pripadajući programski jezik 4D Script. Za potrebe analize napravljene su tri simulacije koje su se razlikovale po načinu ulaska proizvoda u model i po broju strojeva.

Prva simulacija je napravljena s jednim ulaskom reprezentativnih proizvoda u model i ona zapravo predstavlja idealnu situaciju koja se ne odvija u poduzeću, ali bitna je za određivanje vrijednosti modela koji je pokazivao dobre i očekivane rezultate.

Nakon toga napravljena je druga simulacija sa kontinuiranim ulaskom dijelova u model koja bolje opisuje način proizvodnje u poduzeću. Rezultati te simulacije ukazali su na pojedine probleme u vidu uskih grla koja se javljaju na određenim mjestima u proizvodnji i montaži. Problem uskih grla i povećanja produktivnosti može se riješiti uvođenjem novih radnih mjesta na montaži, što se vidi i na rezultatima treće simulacije koja se primijenila nakon ubacivanja novih radnih mjesta u model.

8. Literatura

- [1] <http://www.primabiro.hr/>
- [2] Skupina autora: Inženjerski priručnik IP4, treći svezak, Organizacija proizvodnje, ŠK Zagreb, 2002
- [3] materijali poduzeća Primabiro d.o.o.
- [4] “Podloge za nastavu”, kolegij Projektiranje proizvodnih sustava, prof. dr. sc. Zoran Kunica, FSB
- [5] “Podloge za nastavu“, kolegij Tehnološki procesi, prof. dr. sc. Mladen Perinić, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci
- [6] Kelton, Sadowski, Sturrock, “Simulation with Arena“, McGraw Hill, New York, 2007
- [7] Perinić, Maričić, “Računalna simulacija proizvodnih procesa“, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, 2013
- [8] <https://www.yumpu.com/en/document/view/8339872/tutorial-sdz-gmbh/91>
- [9] Bangsow, Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk, Springer, Berlin, 2010
- [10] http://talumis.com/wp-content/uploads/2014/02/FlexSim_7.1_manual.pdf
- [11] Tutorial ED 9, Incontrol Simulations Solution, Utrecht
- [12] Završni rad, Viktor Žganec, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2013

9. Prilozi

[1] CD sa digitalnim simulacijskim modelom